UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE
FACULTÉ DE MÉDECINE

DOMAINE DE LA MERCI
LA TRONCHE

ANNÉE 1972

Nº D'ORDRE : 54

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PHENOMENES VASCULAIRES DE L'ŒIL PAR LA METHODE RHEOGRAPHIQUE

Etude expérimentale et recherche d'applications cliniques

THESE

présentée

à l'Université Scientifique et Médicale de GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MEDECINE
DIPLOME D'ETAT

par

Monsieur Michel MOUILLON
Ancien Externe des Hôpitaux de Lyon
Interne des Hôpitaux de Grenoble
né à Jallieu (38)

Soutenue publiquement le 29 Septembre 1972
devant la commission d'Examen

MM.	J. L	BONNET	Président
	H.	BEZES	
	M.	TANCHE	
	R.	SARRAZIN	
Monsieur	J. F	PIQUARD	

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544309_0044

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE
FACULTÉ DE MÉDECINE

DOMAINE DE LA MERCI
LA TRONCHE

ANNÉE 1972

Nº D'ORDRE :

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PHENOMENES VASCULAIRES DE L'ŒIL PAR LA METHODE RHEOGRAPHIQUE

Etude expérimentale et recherche d'applications cliniques

THESE

présentée

à l'Université Scientifique et Médicale de GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MEDECINE
DIPLOME D'ETAT

par

Monsieur Michel MOUILLON
Ancien Externe des Hôpitaux de Lyon
Interne des Hôpitaux de Grenoble
né à Jallieu (38)

Soutenue publiquement le 29 Septembre 1972
devant la commission d'Examen

MM.	J. L	BONNET	Président
	H.	BEZES	
	M.	TANCHE	
	R.	SARRAZIN	
Monsieur	J. F	PIQUARD	

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

L'oeil ne se voit pas lui-même il lui faut son reflet dans quelque autre chose.

SHAKESPEARE.

A ma femme

A mes enfants

A ma famille

A mon Ami

Jacques MONTAGNON

Assistant Chef de Clinique

C.H.U. de DIJON

En gage de notre fidèle amitié.

A notre Président de Thèse

Monsieur le Professeur J.L. BONNET

Professeur de Clinique Ophtalmologique
Chirurgien des Hôpitaux

Il nous a accueilli dans son Service avec chaleur. Depuis deux ans, sous sa direction nous apprenons l'Ophtalmologie " sur le tas".

Il a su jour après jour nous faire découvrir et aimer cette spécialité si passionnante, guider nos gestes chirurgicaux. Il nous a toujours témoigné une grande confiance. Nous sommes heureux de poursuivre à ses côtés notre formation.

Nous lui renouvelons ici nos remerciements et l'assurons de notre fidèle dévouement.

A nos Juges

Monsieur le Professeur H. BEZES

Professeur à titre personnel
Chirurgien des Hôpitaux

Il fut notre premier "patron" au C.H.U. de Grenoble. Sa personnalité, sa méthode, son acharnement dans ses réalisations nous ont profondément marqué.

Nous le remercions de nous avoir montré et appris le travail bien fait.

Nous le remercions de l'attention qu'il nous a toujours apporté.

Nous lui exprimons notre profonde reconnaissance et lui redisons notre attachement.

Monsieur le Professeur M. TANCHE

Professeur de Physiologie

Nous avons eu la chance de bénéficier de son enseignement à la Faculté de Médecine de Lyon.

Il a bien voulu nous faire l'honneur de juger ce travail.

Qu'il trouve ici l'expression de notre respectueuse gratitude.

Monsieur le Professeur R. SARRAZIN

Professeur sans Chaire
Chirurgien des Hôpitaux

Nous avons eu le privilège de travailler sous sa direction pendant les deux années passées au Laboratoire d'Anatomie.

Il a inspiré ce travail et nous a donné le courage et le goût de le poursuivre.

Son honnêteté intellectuelle, son sens de la recherche clinique, la simplicité de ses relations humaines sont autant d'exemples pour nous.

Nous souhaitons poursuivre à ses côtés notre travail de recherche sur la Rhéographie. Nous le remercions de ce qu'il a fait et de ce qu'il représente pour nous.

Nous lui témoignons notre attachement et notre admiration.

Monsieur J.F. PIQUARD

Docteur Ingénieur

La réalisation de ce travail nous a donné la chance de le rencontrer, de le connaître et de l'apprécier.

Ce travail est également le sien. Sans sa collaboration il n'aurait pas pris forme.

Son intelligence, son génie inventif, son esprit passionné font de lui un personnage précieux, sa simplicité, sa patience, sa modestie un ami attachant.

Qu'il soit remercié pour tout ce qu'il nous a appris et pour les longues heures qu'il nous a consacré.

Nous sommes heureux de voir se poursuivre notre collaboration et notre amitié.

Qu'il trouve ici l'expression de notre amicale reconnaissance.

A Monsieur le Professeur F. CALAS

Professeur d'Anatomie
Chirurgien des Hôpitaux

Il nous a accueilli avec bienveillance au Laboratoire d'Anatomie. Maître incontesté il est pour nous l'image même d'un "Grand Patron".

Qu'il soit assuré de notre respectueuse gratitude.

A Monsieur M. CORDELLE

Directeur du Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique

A Monsieur R. GARIOD

Chef de Laboratoire M.C.T.E.

A Monsieur E. TOURNIER

Chef de Laboratoire Etudes Générales

A tout le personnel *du Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble*

Leur collaboration à chaque étape de notre travail a été pour nous une aide indispensable, leurs conseils un précieux réconfort et un stimulant.

Qu'ils trouvent ici le témoignage de notre gratitude.

A Monsieur le Professeur J. De ROUGEMONT

Professeur de Neuro-Chirurgie
Chirurgien des Hôpitaux

A Monsieur le Docteur M. BARGE

Assistant Chef de Clinique

A Monsieur le Docteur A.L. BENABID

Assistant Chef de Clinique

Ils ont mis à notre disposition leurs locaux, leur matériel et leur expérience.

Qu'ils soient assurés de notre profonde reconnaissance.

A nos Maîtres de l'Externat

dans les Hôpitaux de Lyon

Monsieur le Professeur JEUNE

Monsieur le Docteur DESJACQUES

Monsieur le Professeur CREYSSEL

Monsieur le Professeur BERTRAND

Monsieur le Professeur THIVOLET

Monsieur le Professeur BETHENOD

Monsieur le Professeur BRUN

A nos Maîtres de l'Internat

Hôpital Saint Joseph de Lyon

Monsieur le Docteur TOURNIAIRE

Hôpitaux de Grenoble

Monsieur le Professeur H. BEZES

Monsieur le Professeur L. SIROT

Monsieur le Professeur J. CABANAC

Monsieur le Professeur J.L. BONNET

A nos Maîtres *des Cliniques Ophtalmologiques de Lyon*

Monsieur le Professeur HUGONNIER

Professeur de Clinique Ophtalmologique

A la tête d'une grande école d'Ophtalmologie il nous a accueilli avec simplicité et bienveillance dans son Service.

Nous avons pu bénéficier de son enseignement réaliste et passionnant.

Qu'il soit remercié et trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Messieurs les Professeurs Agrégés RAVAULT et DURAND

Pour la clarté et la précision de leur enseignement.

Monsieur le Docteur MAUGERY

Assistant Chef de Clinique

Avec toute notre amitié.

A Monsieur le Docteur G. De MARIGNY
Assistant Chef de Clinique

Il nous a guidé avec patience. Nous l'en remercions.

Aux Médecins *de la Clinique Ophtalmologique de Grenoble.*

A Madame JUJINGER *avec qui nous nous réjouissons de travailler.*
Avec toute notre amitié.

A tout le Personnel *d'Ophtalmologie.*
Avec toute notre sympathie.

A nos Amis *de l'Internat*

en particulier aux Membres du bureau 1970-1971 avec qui nous avons passé une année passionnante.

A nos Amis *du Laboratoire d'Anatomie.*

A tous ceux qui ont permis la réalisation de ce travail.

A Madame FAURE, pour ses remarquables traductions.

Aux Laboratoires CHIBRET, qui ont mis à notre service leur exceptionnel Centre de Documentation et nous ont fait l'honneur de s'intéresser à nos travaux.

A Mademoiselle BRONNE, pour sa disponibilité, son aide qualifiée et efficace.

A Madame SICAUD, pour sa précieuse collaboration.

A Mademoiselle J. BARTH, qu'elle soit particulièrement remerciée pour le beau travail accompli et assurée de notre fidèle amitié.

A tous mes Amis.

Je dédie ce travail.

S O M M A I R E

INTRODUCTION

GENERALITES

I. La place de la rhéographie parmi les explorations vasculaires de l'oeil.

II. Historique.

III. Rappels anatomique et physiologique.

IV. Orientation générale de l'étude.

THEORIE DE LA RHEOGRAPHIE DE L'OEIL

I. Principe de la rhéographie.

II. Application à l'oeil.

1°)--- Caractéristiques électriques de l'oeil.

2°)--- Caractéristiques mécaniques de l'oeil.

3°)--- Choix de la technique.

4°)--- Nature et position des électrodes.

5°)--- L'appareillage : le rhéographe.

III. - Le signal rhéographique de l'oeil.

EXPERIMENTATION

I. Le choix de l'animal.

II. Le mode opératoire.

III. Orientation de l'expérimentation.

RESULTATS

I. Etude des relations existant entre les modifications des paramètres circulatoires et les tracés rhéographiques.

II. Les modifications du tracé rhéographique en fonction des caractères franchement pathologiques.

III. Recherche d'une méthode quantitative

RECHERCHE D'APPLICATIONS CLINIQUES.

I. Généralités

II. Les observations cliniques

REFLEXIONS

CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Parmi les nombreux moyens d'exploration fonctionnelle en Ophtalmologie, et plus particulièrement parmi les explorations du système vasculaire de l'oeil il en est peu qui s'intéressent à l'ensemble de la vascularisation oculaire.

De nombreuses méthodes donnent un reflet :

- soit de la circulation rétinienne.
- soit de l'état vasculaire choroïdien.
- soit de la sécrétion d'humeur aqueuse et de ses conséquences au niveau du tonus oculaire.

Les renseignements fournis sont fragmentaires et toujours incomplets.

L'oeil est un organe vasculaire, on pourrait dire un "tout vasculaire". Il nous a donc semblé intéressant de rechercher une *méthode d'étude de l'irrigation sanguine de l'oeil* qui soit :

- répétitive,
- atraumatique,
- si possible quantitative,
- et d'exploitation assez facile.

La Rhéographie nous permet d'envisager cette exploration. Les principes et les applications de la Rhéographie ont donné lieu à une multiplicité de recherches visant à utiliser cette technique pour explorer la circulation sanguine en différents endroits du corps : citons par exemple la Rhéoencéphalographie, la Rhéocardiographie et surtout la Rhéographie des membres.

L'utilisation pour l'oeil n'est pas nouvelle mais c'est la technique à deux électrodes qui semble principalement utilisée.

Bénéficiant du travail réalisé à GRENOBLE, consacré à la Rhéographie des Membres Inférieurs, et de l'appareillage conçu par Messieurs R. SARRAZIN, J.F. PIQUARD et collaborateurs, et réalisé au L.E.T.I. (Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique) dans le cadre du Centre d'Etudes Nucléaires de GRENOBLE, nous avons d'emblée employé la *RHEOGRAPHIE A QUATRE ELECTRODES*.

D'utilisation simple, non traumatisante, elle répond aux critères donnés ; l'aspect quantitatif peut être envisagé en utilisant les mêmes procédés d'étude statistique que ceux utilisés par R. SARRAZIN et collaborateurs dans les méthodes de mesure d'irrigation des membres inférieurs.

C'est enfin une méthode globale, par l'ensemble des secteurs explorés et des phénomènes enregistrés et tout à la fois sélective par les divers paramètres qu'elle permet d'analyser et qui peut donner une idée des différents phénomènes vasculaires qui se passent au niveau du globe oculaire, des interrelations existant entre eux et surtout du comportement de l'oeil en tant qu'organe vasculaire vis à vis de la circulation générale et céphalique.

GENERALITES

G E N E R A L I T E S

I. - PLACE DE LA RHEOGRAPHIE PARMI LES EXPLORATIONS VASCULAIRES DE L'OEIL -

La circulation du sang dans les vaisseaux intra-oculaires n'est mesurable par des méthodes objectives que de façon très limitée.

On peut distinguer des *Méthodes purement statiques* :
- l'ophtalmoscopie.
- la biomicroscopie.
- la photographie du Fond d'oeil.

Ces méthodes donnent des indications sur la circulation rétinienne, uvéale et ses troubles mais elles sont obligatoirement limitées :
- de par le territoire exploré.
- et par le fait qu'elles situent le phénomène à un moment précis.

Elles ne donnent aucune indication sur le volume de la circulation intra-oculaire.

D'autres épreuves envisagent la circulation de l'oeil sous un *aspect un peu plus dynamique* :
- cinéphotographies.
- angiographies fluorescéiniques surtout : si elles s'adressent bien à la circulation uvéale dans son ensemble et permettent de préciser des affections pathologiques, elles ne donnent aucun renseignement sur le volume circulatoire, ses variations et ses conséquences et restent de ce fait très incomplètes.

* La thermographie donne des indications restreintes : c'est une méthode de mesure de surface, comparative.

* La gammagraphie orbitaire a peu d'intérêt en ce qui concerne la circulation du globe.

Ces deux méthodes sont néanmoins d'un apport précieux dans l'exploration de la pathologie vasculaire orbitaire.

• L'ophtalmodynamométrie, de pratique courante, la tonométrie, la tonographie et l'angiographie fluorescéinique (déjà citée) nous apportent trois données essentielles bien connues en ophtalmologie :

- la pression dans l'artère ophtalmique.
- la pression intra-oculaire.
- le temps de circulation bras-rétine.

Mais ces méthodes ne permettent en aucun cas d'apprécier précisément le degré d'altération des parois vasculaires des vaisseaux de l'oeil. D'où l'intérêt des mesures qui tiennent compte des pulsations oculaires :

• La sphygmographie qui s'adresse aux variations pressionnelles est une méthode simple qui a peu d'effets gênants mais qui ne donne pas d'indication sur les modifications effectives des valeurs de la circulation intra-oculaire .
Les courbes de pouls enregistrées sont déformées par la pression élevée que l'appareil exerce sur les vaisseaux intra-oculaires et par le fait que le procédé de mesure altère dès le début la région vasculaire sous-jacente étudiée.

• La pléthysmographie s'adressant à des variations volumétriques de l'oeil doit éviter ces inconvénients, c'est pourquoi à la pléthysmographie mécanique à miroir a été substituée la pneumopléthysmographie et très rapidement la pléthysmographie électrique telle qu'elle est réalisée actuellement.

La pléthysmographie électrique permet d'approcher les phénomènes circulatoires de l'oeil en étudiant le pouls oculaire, ses variations, la valeur de la circulation locale et de ses relations dans le cadre de la circulation générale.

II. - HISTORIQUE -

Les méthodes de mesure reposant sur des variations de volume sont en fait très anciennes et portent nom de *pléthysmographie*.

- *La Pneumopléthysmographie oculaire* permet l'enregistrement et l'exploration du pouls oculaire. Elle a été, et reste utilisée par beaucoup d'auteurs, en particulier dans l'étude des thromboses carotidiennes (*BEST - 1971*).

- *La Pléthysmographie par procédé photoélectrique* à laquelle sont consacrés de nombreux travaux récents mesure les variations, les altérations du pouls oculaire, reflet de l'onde pulsatile cardiovasculaire.

- *La Pléthysmographie électrique ou Rhéographie ou Rhéo-oculographie*, généralement réalisée à deux électrodes est la méthode la plus employée actuellement.

Le principe et les applications de la méthode a fait l'objet de nombreux travaux depuis 1950.

• L'Ecole américaine avec *NYBOER J. et BISHOP S.* s'est attachée à l'étude du principe de la rhéographie, des problèmes électriques de la méthode et de ses applications à l'homme.

• En Autriche, *THIEL* dès 1928 avait déjà établi les normes d'une pléthysmographie correcte de l'oeil. Il utilisait un système mécanique à deux miroirs pour étudier les pulsations synchrones de la cornée.
SCHLEGEL, en 1963, avec un appareil électrique (condensateur à capacité variable modulée par le flux sanguin) obtient une pléthysmographie exacte du système vasculaire uvéal.
HOLZER et POLZER, en 1966, constatent que la conductibilité d'un tissu vivant traversé par la circulation sanguine se modifie selon le rythme de l'onde de pulsation. Les auteurs tentent alors la rhéographie électrique avec un courant de fréquence 10 000 Hertz.

KAINDL et SCHUFRIED montrent l'intérêt de l'utilisation du courant alternatif, la proportionnalité entre les modifications du courant alternatif au Pont de Wheatstone et les variations de la conductibilité de la région étudiée.
Ensuite, *KAINDL, POLZER et SCHUFRIED,* et plus tard *JANTSCH* évaluent de façon quantitative l'amplitude du rhéogramme et montrent la nécessité de tenir compte de la fréquence du pouls. Ils établirent ainsi l'équation :

$$PR = \frac{A}{R} \times T$$

PR : volume des pulsations relatives ("puls volumen")
A : amplitude du rhéogramme en mΩ
R : résistance lue au Pont de Wheatstone.
T : fréquence.

• En Italie, *CRISTINI*, en I956, place des électrodes fronto-palpébrales, épisclérales, et préconise même la rhéographie transpalpébrale, très critiquée d'ailleurs par les auteurs autrichiens.

Depuis I966, à la suite de ces recherches fondamentales, les travaux s'orientent vers l'utilisation de la rhéographie en clinique.

• L'Ecole Autrichienne :

en I968, *ERSLER* établit les critères précis de la pléthysmographie clinique et montre la nécessité de fixer des électrodes sur le globe oculaire empêchant leur glissement sur l'oeil. Il construit des électrodes ventouses indépendantes l'une de l'autre, utilise la méthode bipolaire (appareil de *SCHUFRIED*). Il étudie le temps d'ascension du signal rhéographique et apprécie ainsi le degré de sclérose vasculaire.
Il admet que bien que rapprochées, les deux électrodes étudient l'ensemble du volume du globe oculaire, mais ceci reste à prouver.

BETTELHEIM, dès I966, consacre ses travaux à la rhéographie. Il utilise également deux électrodes portées par un anneau scléral maintenu au globe par un système à dépression. Le rhéographe est de type bipolaire (appareil

de *SCHUFRIED*), et les tracés sont couplés avec un ophtalmodynamogramme.

Ses travaux portent sur des sujets sains et des sujets artérioscléreux, et déjà il distingue des variations artérielles et des variations respiratoires.

En I967, il donne les critères d'une bonne méthode pléthysmographique : électrodes fixes n'exerçant aucune pression sur le globe oculaire.

Il préconise d'éliminer au maximum les variations de remplissage des vaisseaux extra-oculaires de la conjonctive ou de la sclère. Il précise la nécessité de définir un champ électrique de façon très fine et pour cette raison suggère de placer les électrodes sur le globe oculaire, au limbe.

En I969, il étudie des sujets porteurs de glaucome, et d'autres d'oblitération carotidienne.

En I97I, un travail de synthèse rappelle l'historique de la méthode et la mise au point actuelle du matériel et des techniques utilisées.

Il utilise donc deux électrodes ventouses indépendantes :

- un rhéographe à deux électrodes à Pont de Wheatstone.
- un courant de 20 à 30 000 Hz.
- une intensité de I0 milli-ampères.

Ses travaux portent sur les yeux énucléés, sur des lapins endormis et des malades porteurs de thrombose vasculaire ou de glaucome aigu.

Résumons ses conclusions :

Il prouve l'origine intra-oculaire des courbes rhéographiques.

Il affirme la pulsation du système vasculaire uvéal.

Il montre l'intérêt du rhéogramme dans l'étude de l'état des vaisseaux intra-oculaires, en particulier de la sclérose pariétale.

Et il admet comme valable des renseignements donnés par le rhéogramme sur le flux sanguin choroïdien, mais il reconnaît insuffisante la méthode pour étudier les mécanismes régulateurs ou porter un diagnostic formel sur une thrombose vasculaire.

• En U.R.S.S. il faut signaler les travaux d'*AVETISOV* en I967, qui parle de rhéocyclographie car il estime qu'elle reflète toute la circulation dans le corps ciliaire.

BOGOLOWSKI, BUNIN et Coll. pratiquent des recherches parallèles électrophysiologiques et ophtalmopléthysmographiques dans les cas de perturbations d'apport sanguin à l'oeil (thrombose vasculaire ou lésions des artères rétiniennes).
BUNIN, en I969, étudie les relations entre l'humeur aqueuse et le sang par méthodes rhéoophtalmographiques.
KATSNELSON, en I971, étudie par rhéoophtalmographie les relations entre le volume sanguin du corps ciliaire et le débit de l'humeur aqueuse. Il envisage ses applications dans l'étude de la myopie, de l'accommodation.

* En Suède, *SWEGMARK*, dès I966, utilise la rhéographie à deux électrodes pour l'étude de l'accommodation.
Mais en I969, il préconise la rhéographie à quatre électrodes de platine, portée par un verre de contact afin de diminuer les phénomènes d'impédance de contact.
Il distingue alors :
- les deux électrodes "*Driving*".
- les deux électrodes "*Sensing*".
mais toujours pour l'étude des phénomènes accommodatifs, cherchant au contraire à éliminer par sa méthode les phénomènes vasculaires qui nous intéressent.

III. - RAPPELS ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE -

=== RAPPEL ANATOMIQUE ===

LES VAISSEAUX DU GLOBE OCULAIRE (Fig. 1)

Il existe deux systèmes, pratiquement indépendants l'un de l'autre, mais qui ont une source commune, l'artère ophtalmique, née de la carotide interne au niveau de l'apophyse clinoïde antérieure dans la cavité crânienne. Cette source unique est à l'origine de deux systèmes vasculaires :

- *Le système irido-choroïdien.*
- *Le réseau rétinien.*

I°) --- LE SYSTEME IRIDO-CHOROIDIEN ---

C'est la tunique vasculaire de l'oeil, véritable membrane qui représente les deux-tiers de la surface d'une sphère de I2mm. de rayon.

*** Le réseau artériel ***

Il est constitué par :

- *Les artères ciliaires courtes postérieures*, nombreuses au nombre de 7 ou 8, qui se rendent dans la choroïde formant la couche intermédiaire entre les capillaires et les veines.
- *Les artères ciliaires longues postérieures*, au nombre de deux seulement, nasale et temporale, qui pénètrent le globe au pôle postérieur près du nerf optique, cheminant au-dessus de la choroïde sans anastomose avec les vaisseaux de la choroïde.

Elles donnent des artères, une ascendante, une descendante qui s'anastomosent deux à deux, formant le grand cercle artériel de l'iris.

- *Les artères ciliaires antérieures*, nées des artères musculaires, qui traversent la sclérotique près des insertions des muscles pour se jeter dans le grand cercle artériel de l'iris.

L'innervation est assurée par de nombreux rameaux nerveux provenant des nerfs ciliaires.

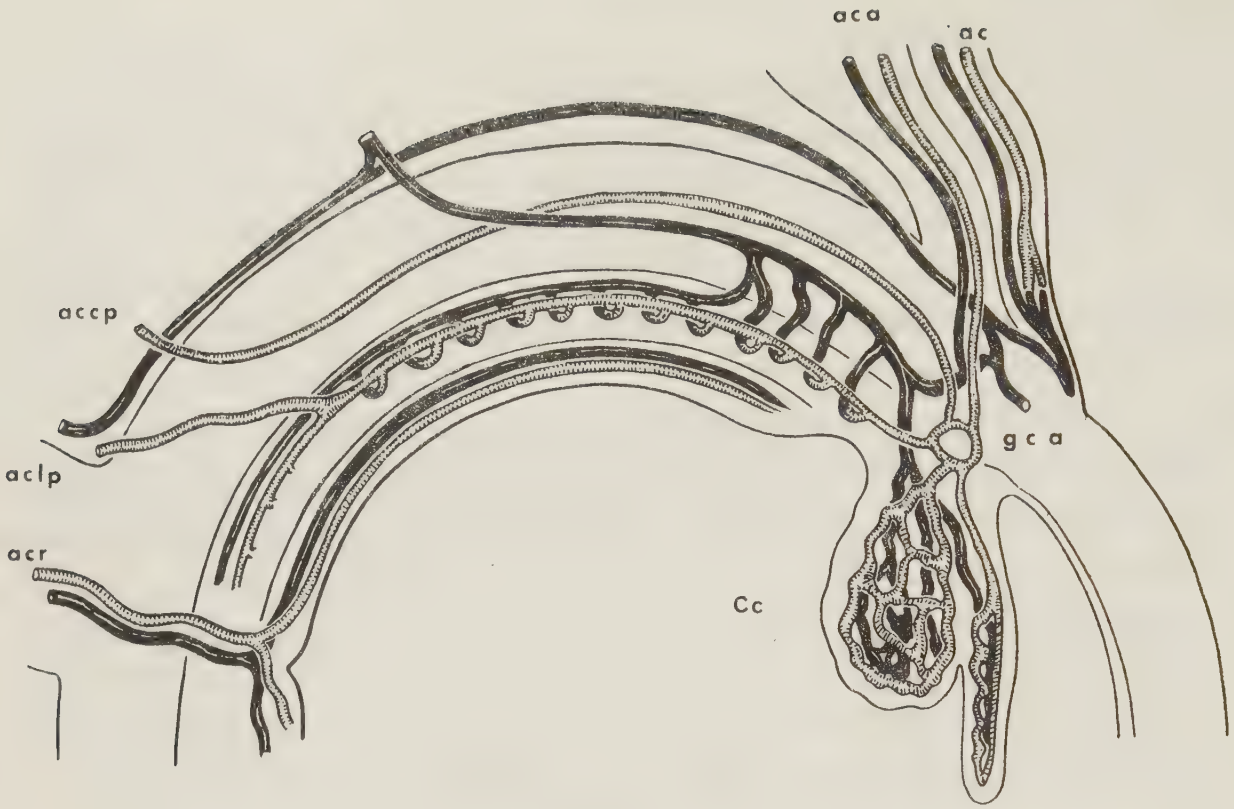


fig. 1

LES VAISSEAUX DU GLOBE OCULAIRE

Cc	: corps ciliaire
I	: Iris
a-c-a	: artère ciliaire antérieure
a-c	: artère conjonctivale
a-c-c-p	: artère ciliaire courte postérieure
a-c-l-p	: artère ciliaire longue postérieure
a-c-r	: artère centrale de la rétine
g-c-a	: grand cercle artériel de l'iris

*** La voie de retour ***

Les veines ont le même trajet que les artères homonymes, et en définitif les veines de l'iris du muscle ciliaire etc... se jettent dans les veines de la choroïde. Celles-ci aboutissent à quatre drains volumineux, les veines vorticineuses ou vortiqueuses qui quittent l'oeil en perforant la sclérotique en arrière de l'équateur.

C'est dans ces quatre drains volumineux (de I/2mm. de diamètre) que se résume pratiquement la circulation veineuse de retour de la membrane irido-choroïdienne ; à noter que ces veines sont avalvulées. Elles se jettent dans la veine ophtalmique supérieure.

2°) --- LE RESEAU RETINIEN ---

En dehors des rares vaisseaux cilio-rétiniens, la circulation rétinienne est assurée par l'artère et la veine centrale de la rétine :
- l'artère est une artère musculaire entourée d'un réseau nerveux très riche : nerfs vaso-moteurs venant des nerfs ciliaires.
- les veines n'ont pas de formation musculaire, elles sont renforcées par du tissu conjonctif.
- les capillaires qui dépendent de ce réseau forment une double couche externe dans les cellules unipolaires et bipolaires, et interne dans la couche des fibres optiques.

La circulation rétinienne de retour se fait dans la veine ophtalmique supérieure ou directement dans le sinus caverneux.

L'étude de la circulation du globe oculaire comporte également, greffé en dérivation sur les deux circulations précédentes, le système d'évacuation de l'humeur aqueuse représenté par le canal de Schlemm, et le réseau des veines aqueuses.(Fig. 2).

Le canal de Schlemm est un canal annulaire, qui s'ouvrant en dedans sur le système trabéculaire scléro-cornéen, est en rapport en dehors avec le trabéculum scléral.

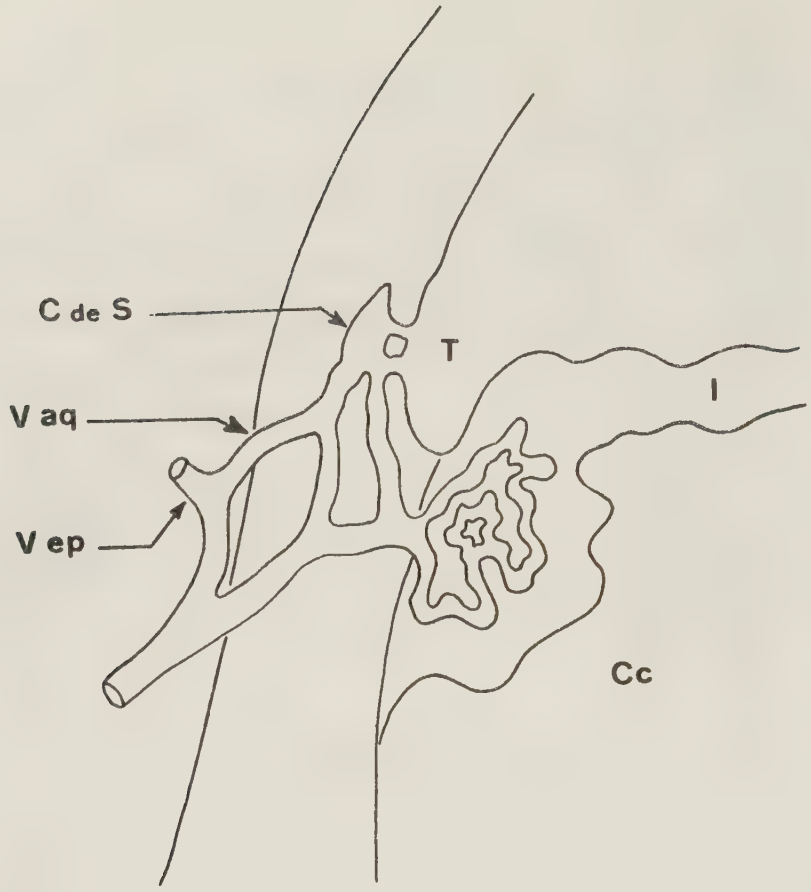


fig . 2

VOIE DE DRAINAGE DE L'HUMEUR AQUEUSE

Cc : corps ciliaire
T : Trabéculum
I : Iris

C de S : Canal de Schlemm
V. aq. : Veines aqueuses
V. ép. : Veines épisclérales

Entre le canal de Schlemm et les veines épisclérales, à la surface du globe, il y a les veines aqueuses. Histologiquement identiques aux veines, elles n'en diffèrent que par leur contenu : l'humeur aqueuse. Elles quittent le pourtour du canal à intervalles réguliers, leur nombre est variable, une trentaine.

Ces veines aqueuses se perdent dans la circulation épisclérale et par là sont drainées dans les veines vorticineuses.

=== RAPPEL PHYSIOLOGIQUE ===

L'oeil est une enceinte sphérique fermée, à l'intérieur de laquelle règne une pression donnée maintenue constante dans des limites physiologiques par un mécanisme régulateur complexe d'ailleurs imparfaitement connu.

Il existe une circulation permanente des liquides à l'intérieur de l'oeil.

LE CORPS VITRE ou HUMEUR VITREE

C'est un milieu transparent semi-liquide qui occupe la cavité oculaire en arrière du cristallin. Il n'est certes pas inerte mais représente plutôt un conjonctif spécialisé. Ses relations avec l'humeur aqueuse sont mal connues. S'il n'y a pas de similitude entre phase liquide du vitré et humeur aqueuse, il y a au moins des rapports étroits. Il entre peu en ligne de compte ou très lentement dans la dynamique des liquides intra-oculaires ; ses variations de volume sont minimes.

C'est surtout entre humeur aqueuse et circulation irido-choroïdienne que s'effectuent les échanges qui nous intéressent.

L'HUMEUR AQUEUSE

ainsi, secrétée dans la chambre postérieure, a pour destinée finale la veine ophtalmique.

Cette humeur aqueuse est un liquide très fluide, incolore, pauvre en protéine, légèrement hyper-osmotique par rapport au plasma.
Secrétée au niveau du corps ciliaire dans la chambre postérieure essentiellement par un processus actif, et à un moindre degré par diffusion, l'humeur aqueuse passe dans la chambre antérieure, ensuite disparait au niveau de l'angle irido-cornéen après avoir rempli ses fonctions métaboliques.
Elle passe du trabéculum dans le canal de Schlemm. Elle ne parcourt pas le canal de Schlemm selon sa circonférence mais le traverse rapidement d'une paroi à l'autre pour finalement être drainée dans le réseau épiscléral et partir dans les veines vortiqueuses. Ainsi elle rejoint la grande voie veineuse du retour jusqu'à la veine ophtalmique.

L'EQUILIBRE PRESSIONNEL OCULAIRE

Il résulte essentiellement de trois facteurs :

I) -- LA PRESSION nécessaire à la formation d'humeur aqueuse par processus actif essentiellement au niveau du corps ciliaire à travers une membrane semi-perméable influencée par pression sanguine et pression hydrostatique et de part et d'autre de laquelle s'effectuent des transferts ioniques.

2) -- LA RESISTANCE à l'écoulement d'humeur aqueuse dans le trabéculum, facteur essentiel sans lequel il n'existerait pas de pression oculaire, et dont l'importance n'est plus à démontrer.

3) -- LA PRESSION VEINEUSE EPISCLERALE qui doit être inférieure à la pression intra-oculaire.

LES VARIATIONS TRANSITOIRES

A côté de cet équilibre pressionnel, il faut envisager le comportement de l'oeil vis à vis des variations transitoires de la pression endoculaire.

L'oeil étant une cavité close d'expansion limitée toute augmentation de la pression intra-oculaire qu'elle soit d'origine externe (contraction musculaire par exemple) ou qu'elle résulte d'une variation du lit vasculaire par brusque changement de la pression artérielle entraîne une augmentation de la pression d'écoulement d'humeur aqueuse jusqu'à ce que finalement la pression régnant dans l'oeil soit rétablie.

LA FIGURE 3 empruntée à *ETIENNE* nous permet de bien comprendre l'équilibre pressionnel oculaire et ses variations possibles.

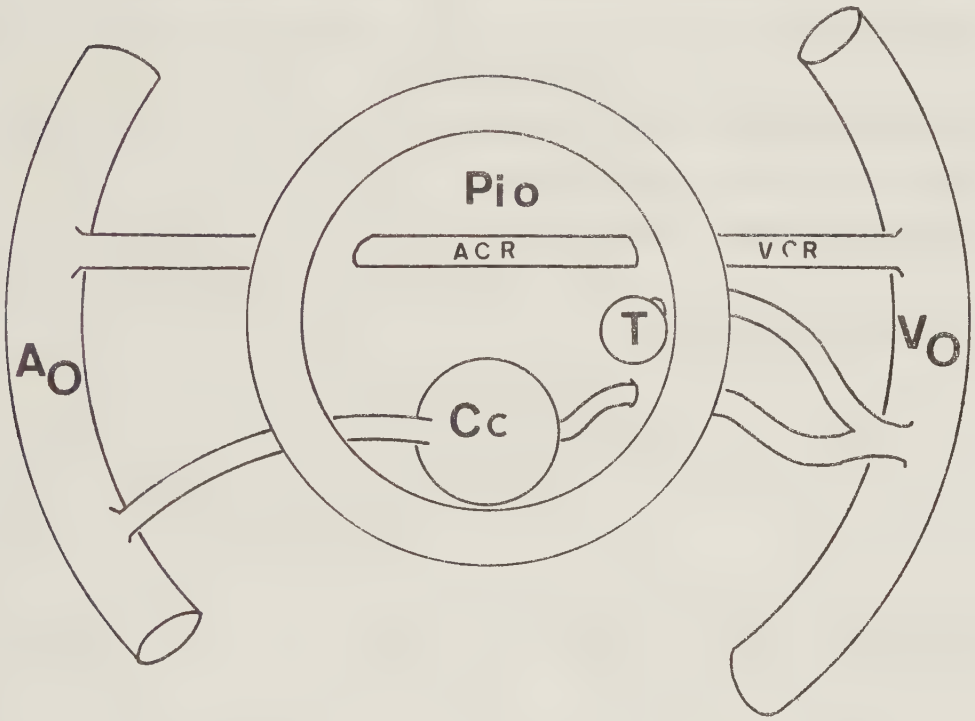


fig. 3

AO : artère ophtalmique
VO : veine ophtalmique
ACR : artère centrale de la rétine
VCR : veine centrale de la rétine
Cc : corps ciliaire
T : Trabéculum
PIO : pression intraoculaire

* La circulation rétinienne provenant de l'artère centrale traverse le globe de part en part sans participer, ou à un degré minime, au maintien de la pression intra-oculaire. Il s'agit d'une circulation à caractère terminal. La pression qui y règne est un peu supérieure à la pression intra-oculaire (témoin le pouls veineux d'observation courante.)

* La circulation uvéale au contraire, responsable de la formation d'humeur aqueuse est davantage soumise aux effets pressionnels endoculaires.

Que la pression vienne à s'élever et la gêne se reflète en amont sur la circulation artérielle du corps ciliaire : il se produit une réduction du flux sanguin, donc une baisse de secrétion de l'humeur aqueuse, ce qui permet de rétablir à la normale la pression intra-oculaire : c'est l'homéostasie.

Ces données se résument dans l'équation de *GOLDMANN*.

$$Poc - Pv = RF$$

Poc : pression oculaire.
Pv : pression des veines épisclérales.
RF : débit secrétoire d'humeur aqueuse.

qui peut s'écrire :

$$Poc = RF + Pv$$

REGULATION NERVEUSE DE LA CIRCULATION OCULAIRE

La complexité des facteurs entrant en jeu dans le maintien de la pression intra-oculaire, la non concordance exacte entre variations de la pression artérielle et pression intra-oculaire amène à penser à l'existence d'un *mécanisme contrôleur*.

La nature de ce mécanisme a donné lieu à de nombreuses théories de même que son existence :
- L'existence d'une régulation hormonale n'a pas trouvé de preuve.
- Le contrôle par une action extra-oculaire nécessite une voie nerveuse et des centres.

• Le rôle du *Sympathique* est certain, il entraîne une diminution de la pression intra-oculaire, son mécanisme d'action exact n'est pas connu.

• Le *Parasympathique* dont les fibres sont véhiculées par le Nerf Moteur Oculaire Commun (III), abaisse la pression intra-oculaire probablement par augmentation de la facilité d'écoulement.

• Le *Nerf Trijumeau (V)* par stimulation antidromique provoque une élévation de la pression oculaire probablement par un "*mécanisme vasculaire*".

- L'existence de centres diencéphaliques de régulation n'a pas été confirmée.

LE ROLE DES SUBSTANCES PHARMACODYNAMIQUES

Elles agissent par modifications :
- soit de la secrétion du corps ciliaire.
- soit de la résistance à l'écoulement.
- soit de la pression veineuse.

EN RESUME

Il règne dans l'oeil comme dans les autres organes une pression supérieure à la pression atmosphérique qui explique que l'oeil ait un certain volume, un certain tonus lui permettant son fonctionnement normal.

Bien que stable cette pression est soumise aux influences rythmiques :
- des pulsations artérielles.
- du rythme cardiaque.
- de la respiration.

IV. - ORIENTATION GENERALE DE L'ETUDE -

L'application à un organe nouveau, bien différent des autres territoires de l'organisme, d'une méthode et d'un matériel fonctionnel pose un certain nombre de problèmes.

=== PROBLEMES THEORIQUES ===

La rhéographie enregistre une variation de volume fonction d'une circulation locale. Or l'oeil est un organe, renfermant des liquides, donc incompressible : humeur vitré, humeur aqueuse... de résistivité très différente du sang et dont il faudra tenir compte dans les enregistrements car leurs déplacements rythmiques peuvent modifier la résistivité globale de l'oeil donc intervenir dans le tracé rhéographique.

=== PROBLEMES PRATIQUES ===

Il nous a fallu reprendre les données physiologiques, hémodynamiques et électriques de l'organe à étudier afin d'adapter l'appareillage tant au niveau des électrodes qu'au niveau de l'appareil de mesure : le rhéographe. Surtout, nous avons cherché à donner à la méthode ses caractères déjà définis qui la rendent utilisable : éliminer les perturbations, les causes d'erreurs résultant d'une mauvaise connaissance de l'organe, ou d'une mauvaise adaptation du matériel.

Une partie de l'expérimentation présentée dans ce travail, a permis précisément d'étudier ces problèmes.

Elle a permis le contrôle et l'adaptation des enregistrements, du matériel, et du protocole d'examen.

Ainsi, petit à petit avons-nous pu utiliser un matériel conçu et réalisé pour les besoins du travail sur l'oeil.
Peu à peu, avons-nous réglementé plus strictement le protocole expérimental. Et l'approche d'une compréhension des phénomènes circulatoires nous paraît-elle possible.

Dans une deuxième étape, nous avons essayé d'envisager toutes les possibilités d'exploration que nous offre l'enregistrement du tracé rhéographique de l'oeil.

Nous verrons chemin faisant comment il est possible de développer l'étude de tel ou tel paramètre et d'en dessiner l'intérêt pour la physiologie ou la physiopathologie.

L'enregistrement rhéographique étudié en parallèle avec les tracés de pressions intra-oculaire, artérielle, et veineuse, nous aide à mieux connaître les mouvements circulatoires de l'oeil, surtout leurs variations et leurs conséquences. Nous ébaucherons un modèle de la vascularisation reposant sur des constatations expérimentales.

Enfin nous sommes passés de la phase expérimentale à l'utilisation en clinique en rendant la méthode facile, inoffensive tout en restant fidèle aux critères d'une bonne rhéographie tels qu'ils ont été précisés par l'Ecole Autrichienne.

Il est alors possible d'envisager des mesures quantitatives valables de la circulation oculaire, par une étude statistique.

THEORIE DE LA RHEOGRAPHIE DE L'OEIL

THEORIE DE LA RHEOGRAPHIE DE L'OEIL

I. - PRINCIPE DE LA RHEOGRAPHIE -

I°) --- PRINCIPE DE LA METHODE ---

2°) --- LES TECHNIQUES ---

a) = *A deux électrodes.*

b) = *A quatre électrodes.*

II. - APPLICATION A L'OEIL -

I°) --- CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU MILIEU EXPLORE ---

a) =*Etude de la résistivité des divers milieux de l'oeil.*

I. Moyens d'étude.

2. Valeurs obtenues.

3. Conclusions.

b) =*Mesure des impédances.*

I. Entre deux électrodes d'injection.

2. Impédance segmentaire.

3. Impédance de contact.

4. Conclusions.

2°) --- CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE L'OEIL ---

a) =*Moyens d'étude.*

b) =*Résultats.*

c) =*Conclusions.*

d) =*Discussion.*

3°) --- CHOIX DE LA TECHNIQUE ---

a) = *Champ électrique uniforme.*

b) = *Densité de courant.*

c) = *Problème des impédances de contact.*

d) = *Inconvénient de la méthode.*

4°) --- NATURE ET POSITION DES ELECTRODES ---

a) = *Les quatre électrodes sont portées par le même verre de contact.*

b) = *Les électrodes d'injection sont distinctes des électrodes de mesure.*

c) = *Les électrodes ventouses.*

5°) --- L'APPAREILLAGE : LE RHEOGRAPHE ---

= *Caractéristiques électriques.*

III. - LE TRACE RHEOGRAPHIQUE DE L'OEIL -

I. - PRINCIPE DE LA RHEOGRAPHIE -

I°) --- PRINCIPE DE LA METHODE ---

La rhéographie par impédance mesure la résistance exprimée en Ohms et ses variations dans un secteur anatomique exploré entre deux électrodes. Si R désigne cette résistance (Fig. N°4)

$$R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{L^2}{V}$$

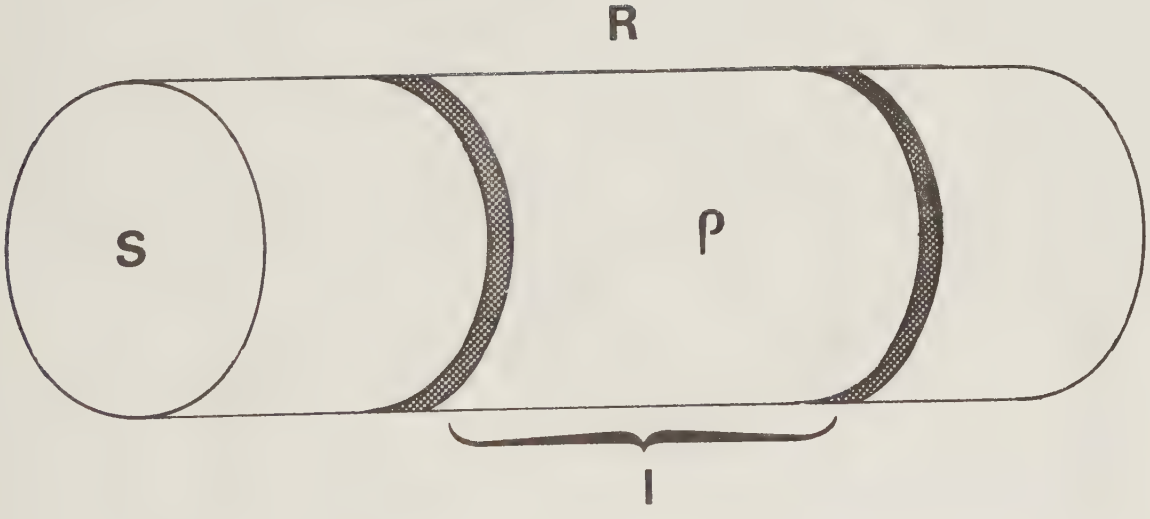


fig. 4

ρ : la Résistivité globale du milieu traversé.
L : la longueur du segment exploré entre deux électrodes.
S : la surface de section du segment exploré.
V : le volume situé entre les deux électrodes.

Donc R varie en fonction :

- d'un volume.
- de la Résistivité du milieu.
- et de la distance entre les électrodes.

2°) --- LES TECHNIQUES ---

a) = *Technique à deux électrodes.*

Le segment anatomique exploré est placé dans la branche de mesure d'un pont de Wheatstone (Fig. N°5), c'est la technique utilisée par l'école Autrichienne avec *KAINDL et SHUFRIED*, et récemment *BETTELHEIM*.

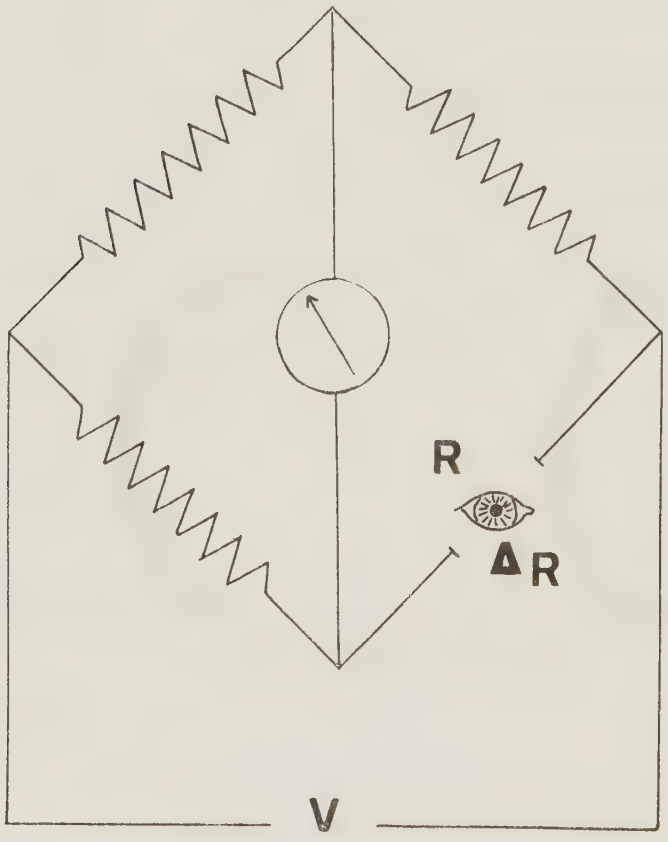


fig. 5

Les auteurs utilisent un courant de fréquence 30 000 Hz. ayant une intensité de IO mA.

Les variations d'impédance traduisent les variations du volume sanguin synchrone du rythme de l'ondée pulsatile.

b) = *Technique à quatre électrodes* =

• Deux électrodes servant à injecter un courant constant sont distantes de manière à créer un champ électrique uniforme : ce sont les *électrodes d'injection*.

• Deux électrodes situées entre les deux précédentes servent à mesurer les variations de ce champ électrique selon la loi :

$$U = RI$$

U : tension mesurée aux bornes des deux électrodes.

R : Résistance.

I : Intensité du courant.

Ce sont les *électrodes de mesure*.

$$\Delta U = \Delta R \times I$$

I étant constante.

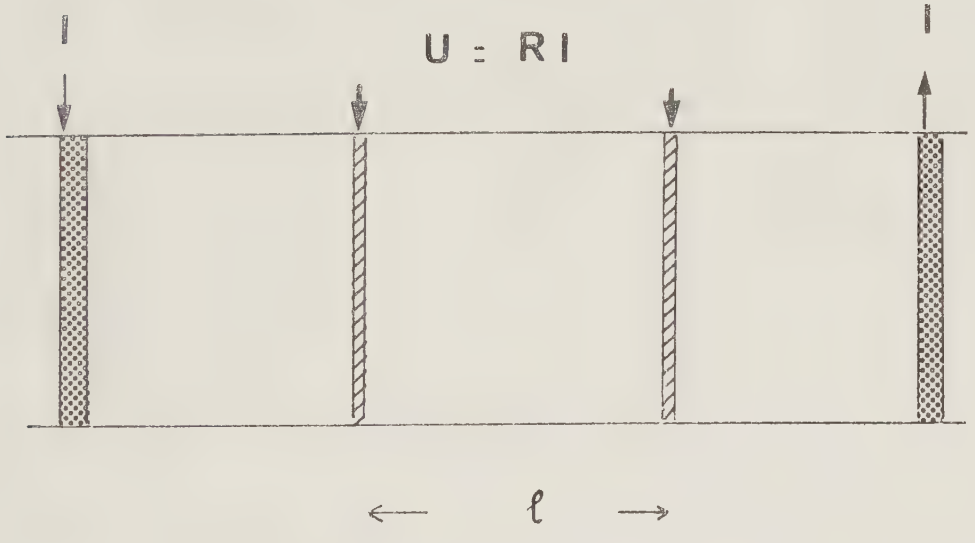


fig.6

C'est la méthode employée en particulier par *NYBOER* et qu'utilisent à Grenoble *SARRAZIN, PIQUARD et Coll.*

SCHEMA DE LA RHEOGRAPHIE A 4 ELECTRODES APPLIQUEE A L'OEIL

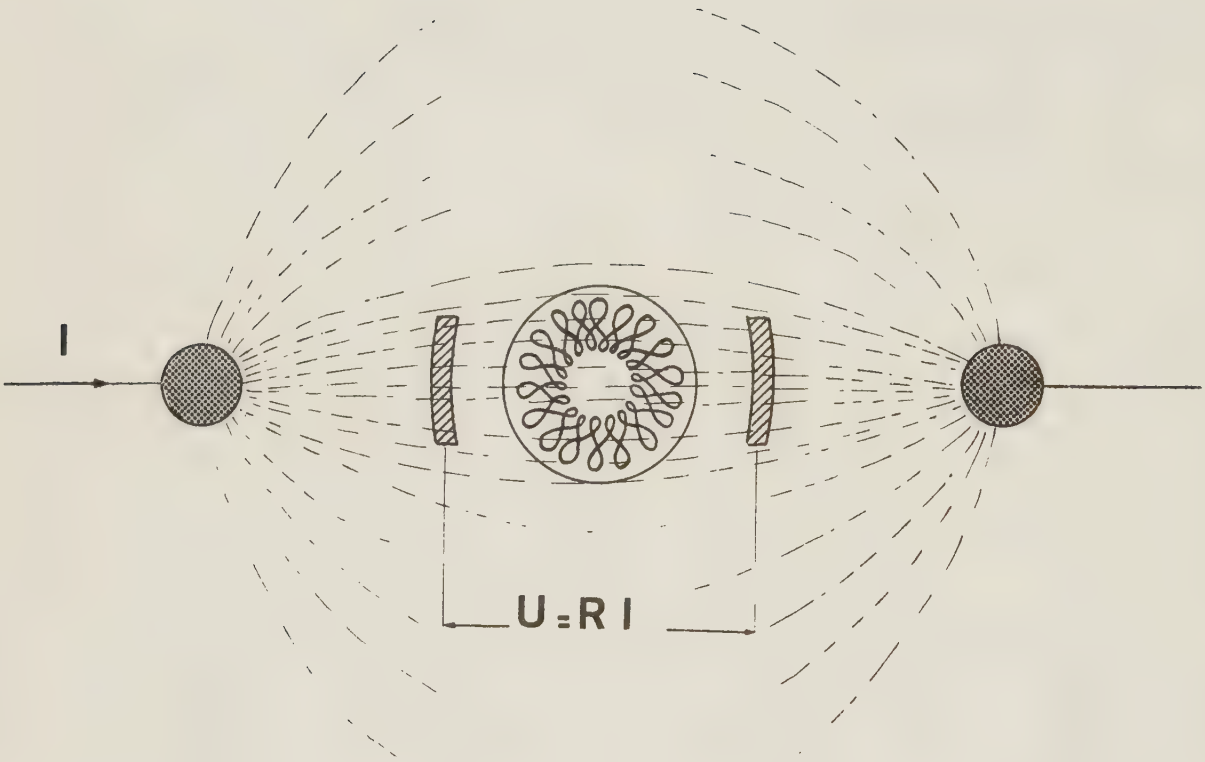


fig.7

L'oeil est situé au centre du champ électrique créé par les deux électrodes rondes périphériques.

II. - APPLICATION DE LA RHEOGRAPHIE A L'OEIL -

Avant d'appliquer à l'oeil la méthode rhéographique et afin de ne pas méconnaître le rôle de chaque milieu traversé par le courant électrique nous avons pratiqué des mesures de résistivité des milieux liquides traversés, et des mesures d'impédance entre les électrodes.

I°) --- CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU MILIEU EXPLORE ---

a) = *Etude de la Résistivité des divers milieux de l'oeil.*

I. Moyens d'étude

L'étude électrique des milieux a été réalisée dans un appareil de mesure permettant d'obtenir un volume précis (Figure N° 8). Les mesures ont été faites à température constante de 25°.

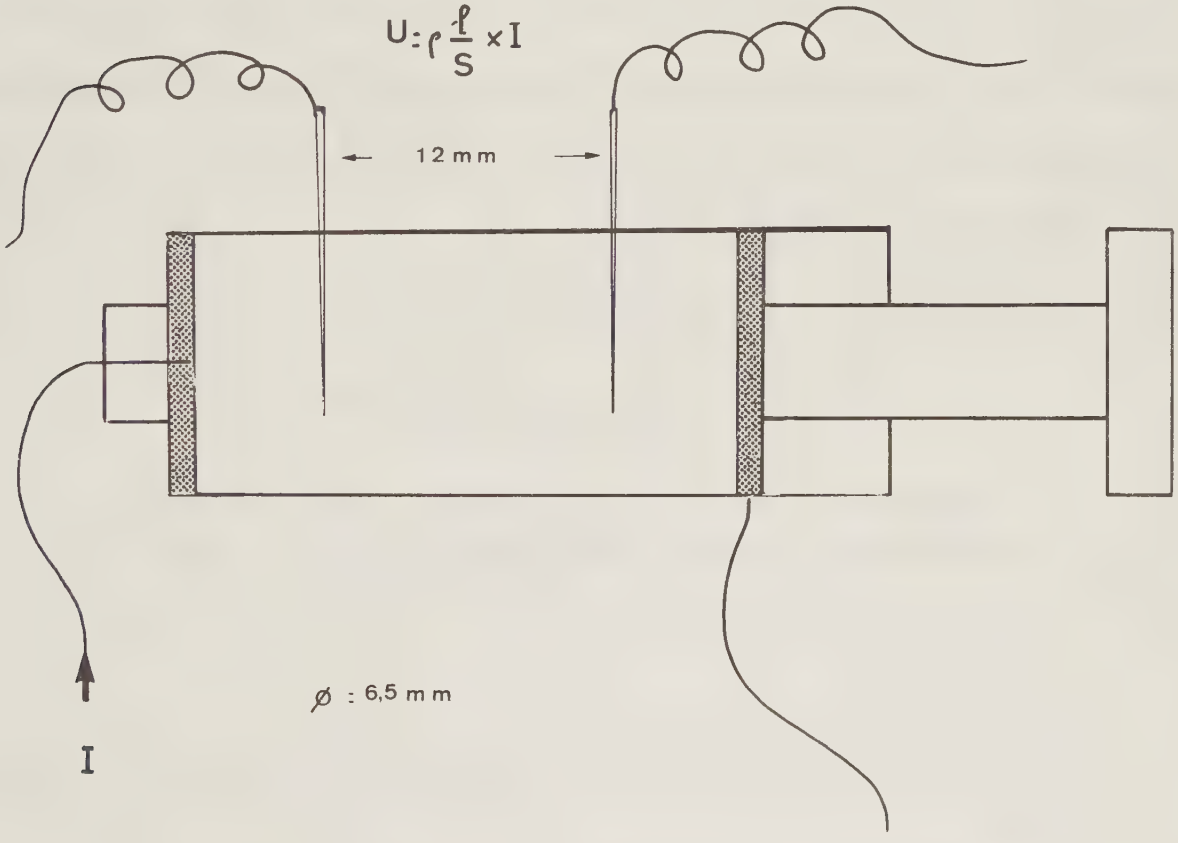


fig.8

APPAREIL SERVANT A LA MESURE DE RESISTIVITE

2. Valeurs obtenues

Elles sont résumées sur le tableau ci-dessous précisant les variations de résistivité en fonction de la variation de fréquence du courant injecté.

Nous avons encadré la gamme de fréquence utilisée au cours de nos manipulations.

FREQUENCE courant injecté en HZ.	HUMEUR AQUEUSE		VITRE		SANG VEINEUX HEPARINE		SANG HUMAIN
	Lapin	Homme	Lapin	Homme	1 Lapin	2	
1 HZ	76		74		160	140	197 Ωcm/cm^2
10 HZ	76		74		160	140	198
100 HZ	76		75,5		165	140	198
1000 HZ	76		72,5		160	140	187
4000 HZ	76	58	72,5	74,2	160	140	195 Ωcm/cm^2
10 000 HZ	76		74,5		165	140	192
100 000 HZ	76		75		160	143	187

TABLEAU N° I

RESISTIVITE DES MILIEUX LIQUIDES DE L'OEIL EN FONCTION DE LA FREQUENCE DU COURANT CHEZ L'HOMME ET CHEZ LE LAPIN.

3. Conclusions

Le sang est le milieu le plus résitif des milieux liquides de l'oeil.

* Chez le lapin : humeur aqueuse et vitré ont à peu près la même résistivité : 75 Ωcm/cm^2 alors que le sang veineux a une résistivité à peu près double : 150 Ωcm/cm^2.

• Chez l'homme :

L'humeur aqueuse a une résistivité très basse : 58 $\Omega cm/cm^2$.
Le vitré humain a sensiblement la même résistivité que le vitré de lapin.
La résistivité du sang veineux humain : I95 $\Omega cm/cm^2$ est plus de deux fois supérieure à celle du vitré.

Or volumétriquement Vitré et Humeur aqueuse sont prépondérants. c'est ce que nous montre le tableau II.

	Lapin	Homme
VOLUME GLOBAL DE L'OEIL.	2,5cc.	8,5cc.
VOLUME DES MEMBRANES.	0,7cc.	3cc.
VOLUME DES MILIEUX LIQUIDES	1,6cc.	5,5cc.
MILIEUX LIQUIDES EN % DU VOLUME TOTAL.	64%	64,7%

T A B L E A U II

VOLUME RELATIF DES ENVELOPPES DE L'OEIL ET DES MILIEUX LIQUIDES

On peut donc s'attendre à ce que l'effet du milieu liquide (Humeur aqueuse + Humeur vitrée) ait un rôle prépondérant sur la Résistivité moyenne du milieu.

Connaissant ces données, il est permis de calculer d'une manière très approchée la Résistance Ohmique d'un secteur de l'oeil exploré entre deux électrodes.

Si l'on considère très approximativement la portion comprise entre deux électrodes comme un cylindre, nous pouvons conduire le calcul de la façon suivante :

En tenant compte de mensurations moyennes de l'oeil de lapin, comme le montre la Figure N° 9 , le diamètre du cylindre exploré est de I,5cm, sa hauteur de 0,5cm.
La hauteur du cylindre correspond au secteur compris entre les deux électrodes ; celles-ci épousant la forme du verre de contact, c'est entre leurs extrémités qu'est mesurée la distance explorée.

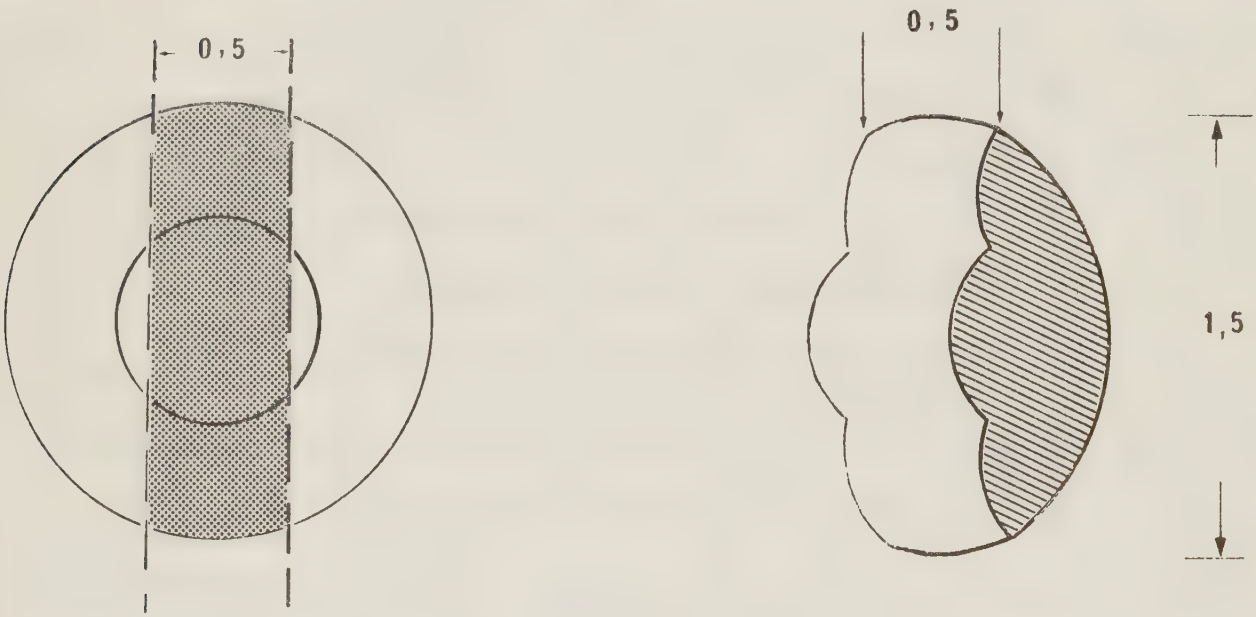


fig. 9

En supposant la résistivité moyenne de l'oeil égale à celle du vitré.
Nous observons :

$$R = \rho \frac{L}{S} = 75\Omega \times \frac{0,5cm}{1,77cm^2} = 21\ \Omega$$

Au cours de l'expérimentation que nous avons menée les chiffres de résistance enregistrée oscillent autour de la valeur de I5 Ω.
Ceci tend à montrer que le champ électrique concerne la totalité de l'oeil et un peu de territoire avoisinant mais avec une influence moindre.

En effet, le milieu étant peu résistant par rapport aux autres tissus de l'organisme(la résistivité moyenne des tissus au niveau des membres inférieurs est pour la cuisse égale à 350 Ωcm/cm^2),les électrodes d'injection étant très proches de l'oeil, le courant injecté passe préférentiellement par cet organe.

Les variations de résistance dues au sang seront de faible amplitude : en effet la résistivité du sang est la plus importante et le rapport de son volume avec les autres éléments du milieu est faible.

On pourrait envisager une méthode plus sensible avec un champ électrique plus superficiel par rapprochement des électrodes d'injection au contact même du globe oculaire, en limitant l'exploration à la partie antérieure de l'oeil.

Mais alors, les variations si elles sont plus sensibles ne reflèteront que les phénomènes vasculaires du segment antérieur excluant de ce fait une partie de la circulation choroïdienne et la circulation rétinienne ce qui limite considérablement l'intérêt de la méthode.

---

b) = *Mesure des Impédances* .

Celles-ci ont été mesurées en fonction des variations de fréquence du courant injecté.

- soit entre les deux électrodes d'injection, elles seront appelées : ZI
- soit entre les deux électrodes de mesure, elles seront appelées : Z'I
- soit entre les deux électrodes de mesure utilisées comme électrodes d'injection, elles seront appelées : Z'2.

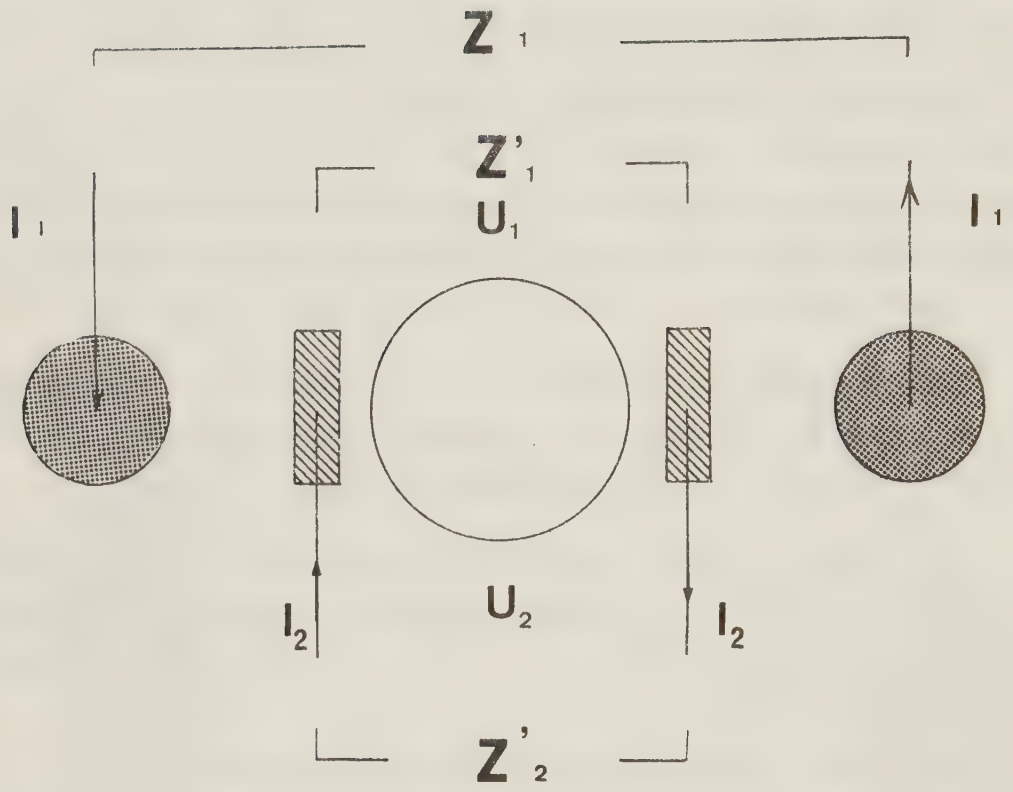


fig.10

SCHEMA DE LA MESURE DES IMPEDANCES
les électrodes étant en place sur l'oeil.

I^1 représente l'intensité du courant injecté entre les électrodes habituelles servant à l'injection.

Et l'on mesure alors les impédances de contact :

Z1 entre les électrodes d'injection.

Z'1 entre les électrodes intercalaires.

I^2 représente l'intensité du courant injecté entre les deux électrodes intercalaires utilisées comme électrodes d'injection.

Et l'on mesure alors les impédances de contact entre ces deux électrodes Z'2.

Sur le Tableau III nous donnons les valeurs des impédances mesurées avec l'oscilloscope pour des fréquences du courant variant entre IO Hz et I mégaHz.

Les intensités du courant sont exprimées en milli-ampères.

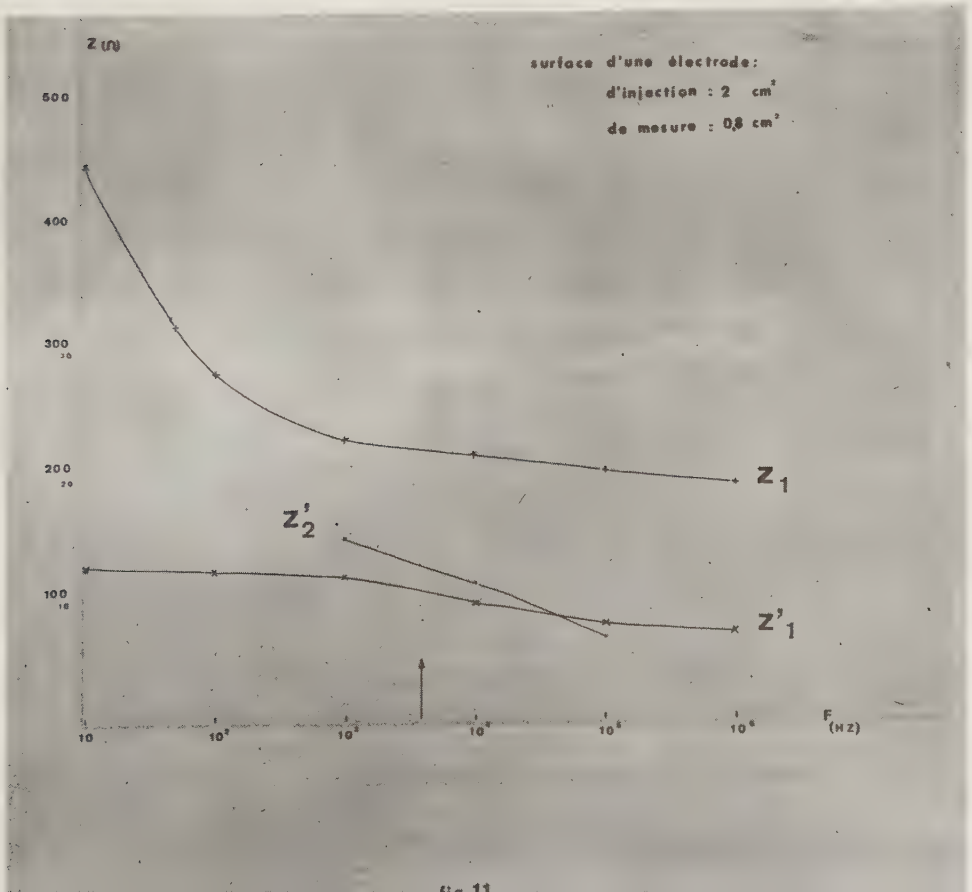
Les valeurs des impédances sont données en Ω.

FREQUENCE en Hz	I_1 mA	Z_1 Ω	Z'_1 Ω	I_2 mA	Z'_2 Ω
10	0,5	450	12		
10^2	0,5	280	12		
10^3	1	225	11,6		
10^4	1	215	9,6	1	114
10^5	1	200	7,6	1	110
10^6	1	190	7,2	1	66

TABLEAU III

Ces données sont également exprimées sous forme d'une courbe (Fig. N° 11).

- En abscisse sont portées les fréquences de courant en échelle logarithmique.
- En ordonnée : les impédances en Ω.



COURBE DES IMPEDANCES

fig. 11

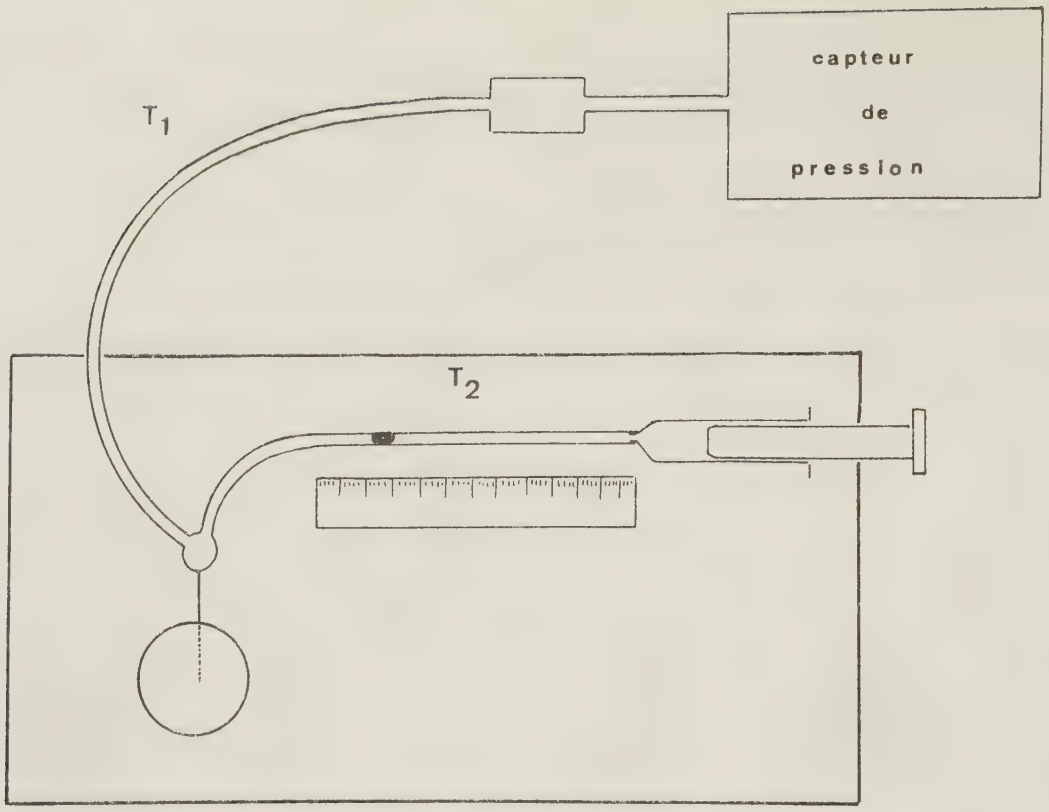


fig .12

SCHEMA DE LA MANIPULATION POUR L'ETUDE DES RELATIONS PRESSION-VOLUME SUR OEIL DE LAPIN ENUCLEE

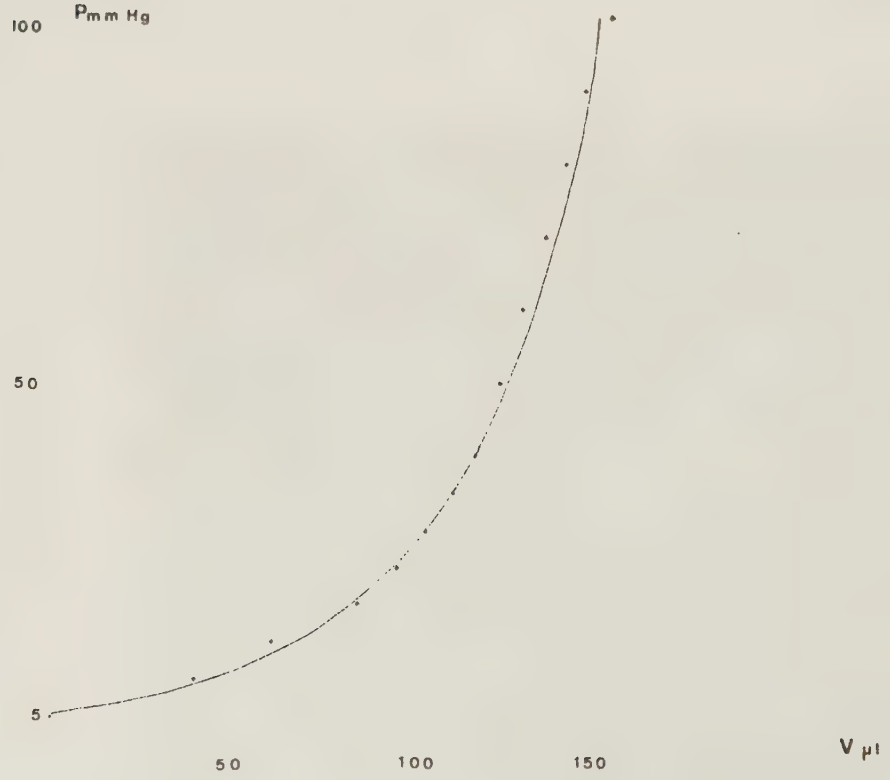


fig. 13

COURBE DES RELATIONS PRESSION-VOLUME

4. Conclusions

* L'impédance entre deux électrodes d'injection placées sur la peau (Z1) est forte pour les basses fréquences.
Elle diminue puis se stabilise pour des fréquences supérieures à IOO KHz.

* L'impédance entre deux électrodes intercalaires (servant à la mesure)(Z'1) varie peu en fonction de la fréquence : ceci est dû à l'impédance minime du milieu cellulaire.

* L'impédance vue entre les deux mêmes électrodes que précédemment, placées sur l'oeil mais servant d'injection (Z'2) varie en fonction de la fréquence et met en évidence l'importance des impédances de contact au niveau des électrodes ainsi que le caractère superficiel du champ électrique créé.

2°) --- CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE L'OEIL ---

L'oeil est un organe sphérique réalisant une enceinte fermée aux parois élastiques.

a) = *Moyen d'étude* =

Nous avons repris pour étudier les propriétés mécaniques de l'oeil les expériences classiques de *FRIEDENWALD* (I954) et de *GLOSTER* (I956).

Elles consistent en l'étude de la relation existant entre le volume de fluide injecté dans un oeil isolé et la pression qui en résulte.

Nous avons étudié la relation sur des yeux de lapin énucléés. (Schéma de la manipulation sur Figure N° 12).

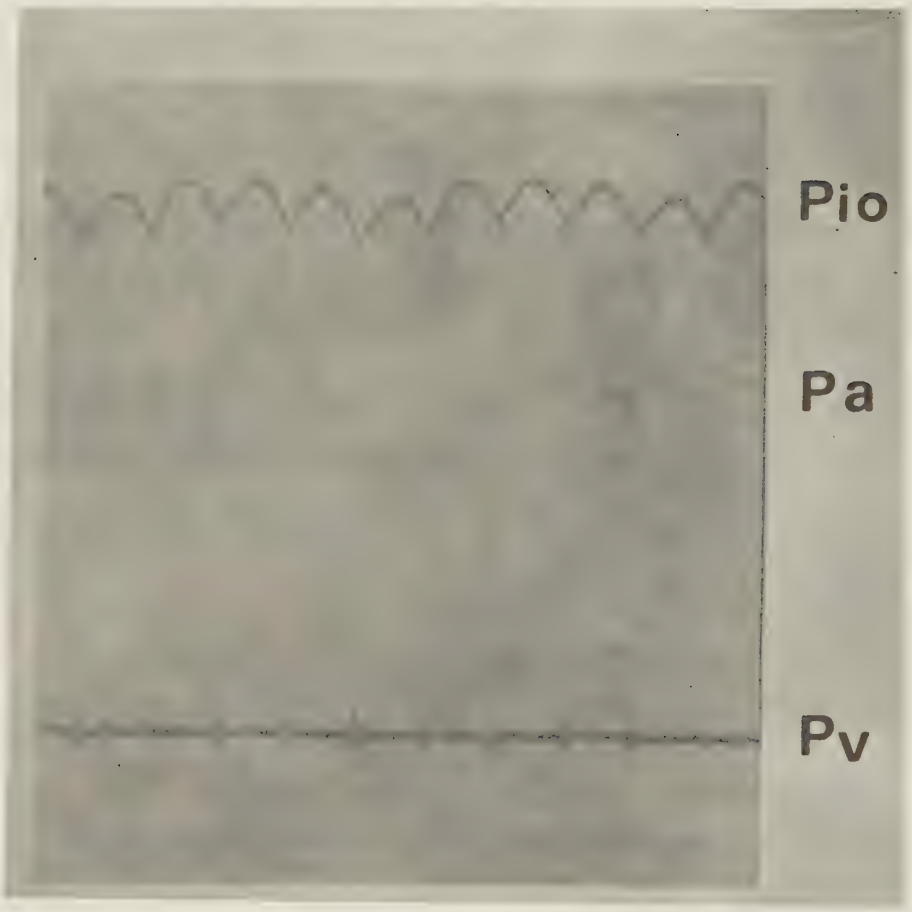


fig 14

ENREGISTREMENT RHEOGRAPHIQUE MONTRANT LES MODULATIONS
DE LA PRESSION INTRA-OCULAIRE (Pio) PAR LA PRESSION ARTERIELLE (Pa)

La pression veineuse (Pv) est également modulée.

L'injection de sérum salé à 9°/₀₀ est faite dans la chambre antérieure.

L'oeil est fixé à une table d'examen par ses muscles dans une cupule, il est relié par des cathéters en Téflon et un robinet à trois voies :

- à un enregistreur de pression.
- à une seringue.

Le volume injecté est mesuré par le déplacement d'une bulle d'air dans le tube en Téflon T2.
La pression est mesurée à l'aide d'un capteur de faible capacité.

b) = *Résultats* =

La courbe obtenue est une exponentielle dans sa partie initiale, et sensiblement une droite au-delà de 70mm. de mercure (Figure N° 13).

c) = *Conclusions* =

L'augmentation de volume du globe pour des augmentations égales de la pression intra-oculaire est plus faible dans les fortes pressions.

Les mesures doivent être faites rapidement en raison de la fuite qui se produit très rapidement sur l'oeil énucléé par les vaisseaux, au pôle postérieur.

d) = *Discussion* =

Pour un tonus oculaire moyen de IO mm Hg. la relation pression-volume pour de très petites variations pulsatiles (I mm Hg) comme le montrent les enregistrements de la Figure N° 14
est de 4,2 µl pour Imm Hg.
On serait en droit d'attendre si cette variation de pression était due à une variation de volume de la chambre antérieure de l'oeil des modifications pulsatiles de l'ordre de 4,2 µl pour un volume global de l'oeil de 2,5 ml.

Mais il faut bien considérer que les études sur l'oeil isolé ont consisté en augmentation de la pression intra-oculaire par perfusion de la chambre antérieure, c'est-à-dire par augmentation artificielle du contenu oculaire.

Le lit vasculaire, lui, est essentiellement réparti à la périphérie de l'oeil (il représente un fragment de sphère creuse) et c'est sur lui que portent les variations rythmiques de pression entraînant les variations de volume.
Cette notion est représentée sur la Figure N° 15.

Nous distinguons schématiquement :
= l'écorce du globe oculaire comprenant la sclère et la choroïde, cette dernière expansible au détriment du contenu.
= le contenu de l'oeil représenté par l'humeur aqueuse, l'humeur vitrée et le cristallin.
Le vitré étant relativement constant dans son volume (ses variations sont possibles mais minimes, donc négligeables), c'est celui de l'humeur aqueuse qui fera les frais des variations de pression.

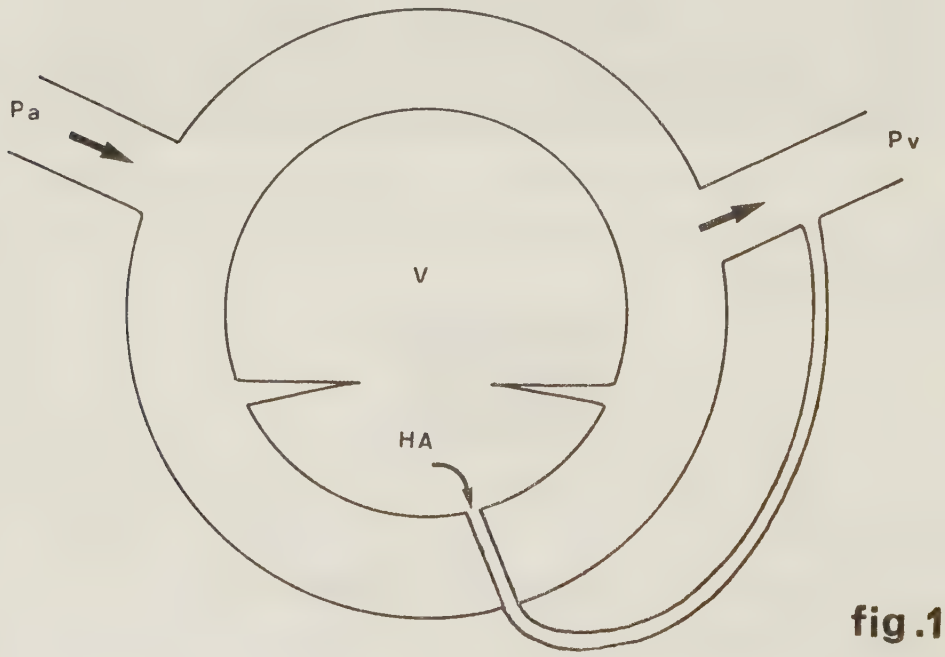


fig.15

Si l'on se souvient que le débit de l'humeur aqueuse chez le lapin est de 3,5 µl/mn, on comprend que la variation de volume calculée (4,2 µl lors de chaque ondée pulsatile) ne puisse correspondre à une variation de volume de la chambre antérieure. Donc les variations de volume proviennent bien en partie de ce que nous avons appelé l'écorce de l'oeil.

3°) --- CHOIX DE LA TECHNIQUE ---

Le choix de la technique à quatre électrodes pour l'exploration rhéographique de l'oeil est motivé par les arguments suivants.

a) = *La création d'un champ électrique uniforme* =

Grâce aux électrodes d'injection disposées de part et d'autre de l'orbite dans le secteur temporal et dans le secteur nasal, un champ électrique est déterminé de façon homogène. Les auteurs autrichiens (*JANTSCH et KAINDL* en particulier) précisent bien cette notion d'homogénéité du milieu électrique.

A notre avis la pose des électrodes d'injection à distance de l'organe permet d'englober complètement celui-ci dans le champ électrique, et de faire participer toute la vascularisation de l'oeil. (cf. Figure N° 18).

b) = *La densité du courant vis à vis des électrodes* =

Nous utilisons un courant pouvant varier de 100 µA. à 1 milliampère crête. Ce courant réparti sur une surface de 4 cm2 est en dessous de tout effet physiologique : électrolyse - stimulation - échauffement.

Nous disposons les électrodes d'injection en territoire cutané. En somme avec des courants de faible intensité, de grande fréquence, des électrodes d'injection de grande surface nous supprimons le "risque" de l'examen.

c) = *Le problème des impédances de contact* =

Nous cherchons par la méthode de rhéographie à quatre électrodes à éliminer les impédances de contact :
on peut associer au Tableau III et aux courbes de la Figure N° 11 le schéma représentatif suivant. Figure N° 16.

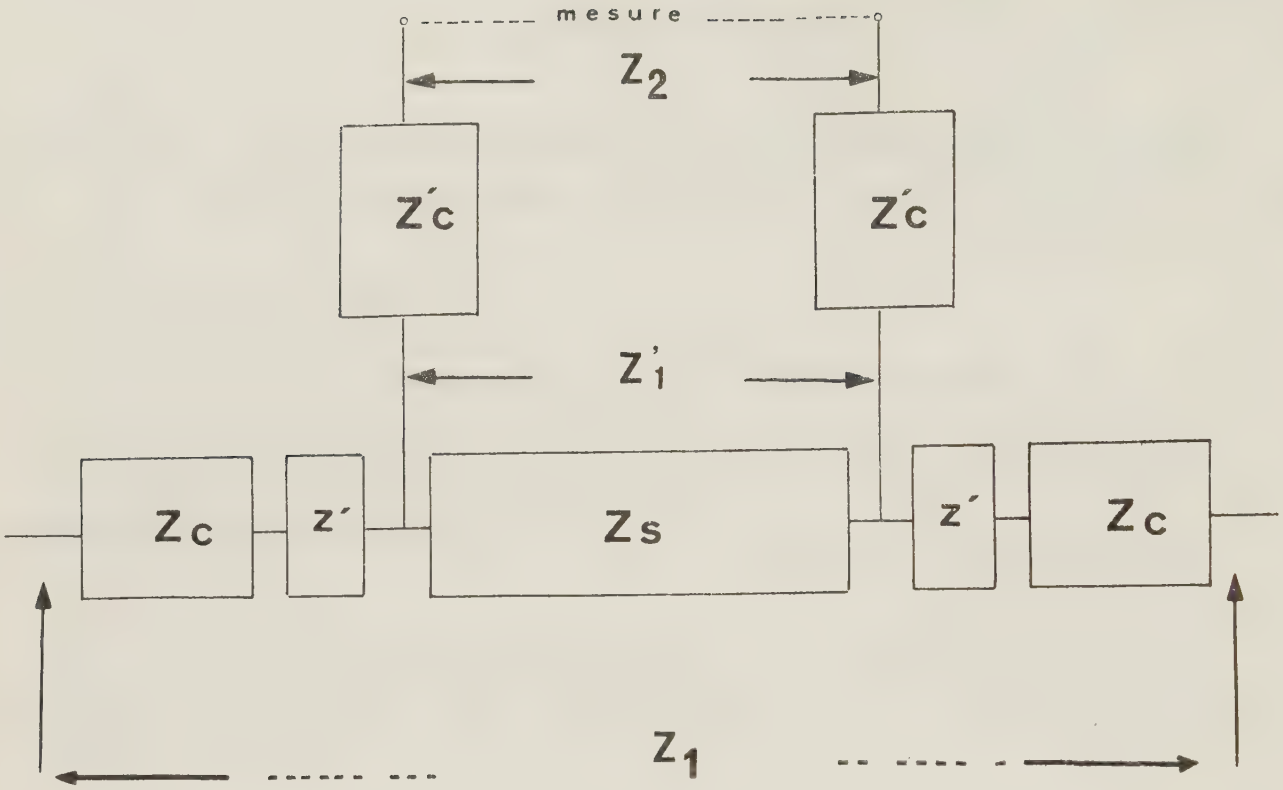


fig.16

SCHEMA DE LA MESURE DES INPEDANCES IN VIVO.

Zc : Impédance de contact entre les électrodes d'injection placées sur la peau.

ZS : Impédance segmentaire vue entre les électrodes de mesure.

Z'c : Impédance de contact entre les électrodes de mesure placées sur l'oeil et servant d'injection.

Z1 : Impédance entre les électrodes d'injection.

Z'1 : Impédance entre les électrodes intercalaires.

Z'2 : Impédance entre les électrodes intercalaires utilisées comme électrodes d'injection.

L'impédance Z1 = ZS + 2 Z' + 2 Zc vue entre les électrodes d'injection.

Z'1 = ZS si l'appareil de mesure possède une très grande résistance interne.

Z2 = 2 Z'c + ZS

La technique à quatre électrodes permet de mesurer uniquement ZS car l'impédance de l'appareil de mesure est très élevée.

La technique à deux électrodes mesure Z2 et fait donc intervenir les contacts des électrodes et leurs variations.

Pour une même fréquence de 4000 Hz ZS = 10,5 Ω (rhéographie à quatre électrodes) et Z2 = 128 Ω (rhéographie à deux électrodes).

Il faut cependant tenir compte dans cette mesure du fait que le champ électrique étant plus superficiel dans le dernier cas, l'impédance vue est plus grande.

d) = *Les inconvénients de la méthode* =

Deux critiques peuvent être formulées :

I. La moindre sensibilité de la rhéographie à quatre électrodes par rapport à la rhéographie à deux électrodes. En effet le champ électrique plus uniforme se répartit dans tout l'oeil mais nous avons vu les avantages de cette exploration : elle est plus globale, non limitée au segment antérieur.

2. Les mouvements de l'oeil :

a)--- Les mouvements de l'oeil dans le champ électrique risquent en eux même de perturber l'enregistrement rhéographique.

Si l'on étudie comparativement un tracé tonographique (Figure N° 17) nous constatons le peu d'amplitude des modulations respiratoires relatives par rapport aux modulations artérielles. Or dans la technique d'enregistrement tonographique les modulations respiratoires correspondent effectivement à un déplacement de l'oeil.

En revanche, sur un tracé rhéographique on note d'importantes variations respiratoires qui sont dues au phénomène circulatoire veineux.

En somme les déplacements de l'oeil sont si minimes qu'ils s'effacent devant l'importance des modulations d'origine circulatoire.

b)--- Le globe oculaire est mû par un ensemble musculaire dont la mise en tension lors des mouvements exerce des pressions sur l'oeil et peut de ce fait entraîner des déplacements de liquides dans l'oeil donc des variations de volume ou de pression.

Pour éliminer cet inconvénient :
- chez l'animal, la contraction des muscles oculaires est supprimée par l'anesthésie profonde.
- chez l'homme éveillé, les mouvements actifs sont dans la mesure du possible abolis en demandant au patient pendant la durée de l'examen de fixer un point à l'infini. (cf. Chapitre des applications cliniques).

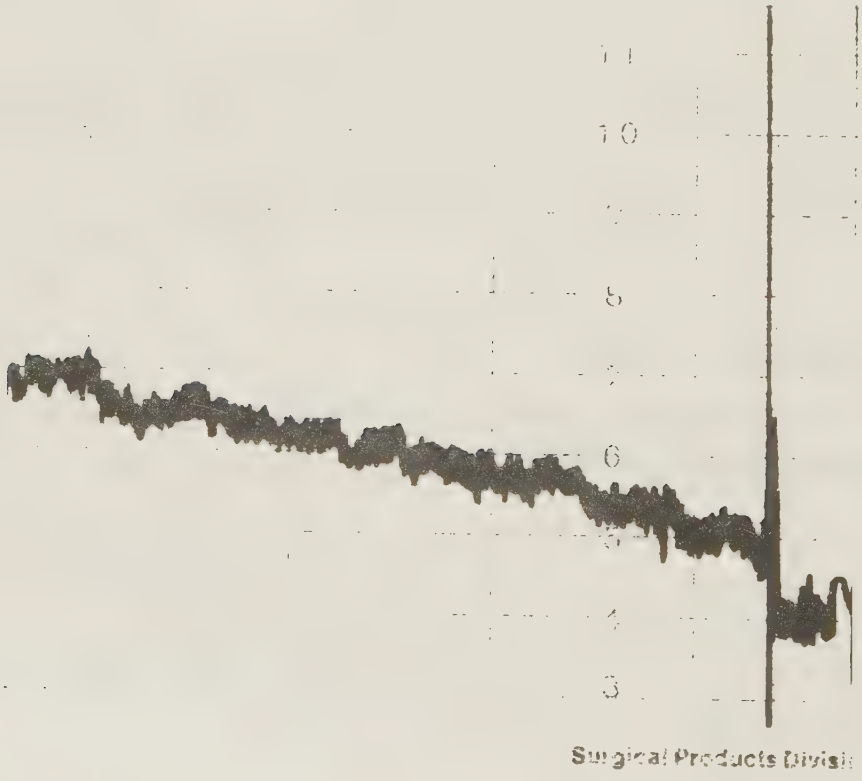


fig. 17

TRACE TONOGRAPHIQUE HUMAIN

4°) --- NATURE ET POSITIONS DES ELECTRODES ---

Plusieurs types d'appareillages ont été envisagés et réalisés.

a) = *Les quatre électrodes sont portées par le même verre de contact* (Photo 1).

Le support est constitué par un verre de contact à appui scléral dégageant ou non la cornée.
Il porte à sa face inférieure les deux électrodes qui sont représentées par des plaquettes rectangulaires découpées dans une feuille d'acier inoxydable de 40µ d'épaisseur, réalisant une surface de 36mm2 (par électrode).

Les deux électrodes d'injection sont distantes de I7mm..
Les deux électrodes de mesure de 11mm.

Les avantages de ce système réside dans la relative simplicité de réalisation, et d'utilisation mais en revanche il a l'inconvénient de créer un champ électrique limité, donc d'explorer une zone plus réduite (segment antérieur de l'oeil).
Les contacts avec le globe sont parfois difficiles à obtenir.
Enfin la densité de courant électrique est appliquée toute entière au globe et non à distance de l'oeil.

b) = *Les électrodes d'injection sont distinctes des électrodes de mesure.*

- Les premières placées de part et d'autre de l'orbite, de manière à ce que le champ électrique créé couvre entièrement le globe oculaire et de façon la plus uniforme possible.
- Les électrodes exploratrices servant à la mesure proprement dite sont portées par un verre scléral qui les situe à peu près à un ou deux millimètres du limbe scléro-cornéen. Elles sont situées entièrement dans le champ électrique.

PHOTO 1

VERRE DE CONTACT A QUATRE ELECTRODES

PHOTO 2

VERRE DE CONTACT A APPUI SCLERAL

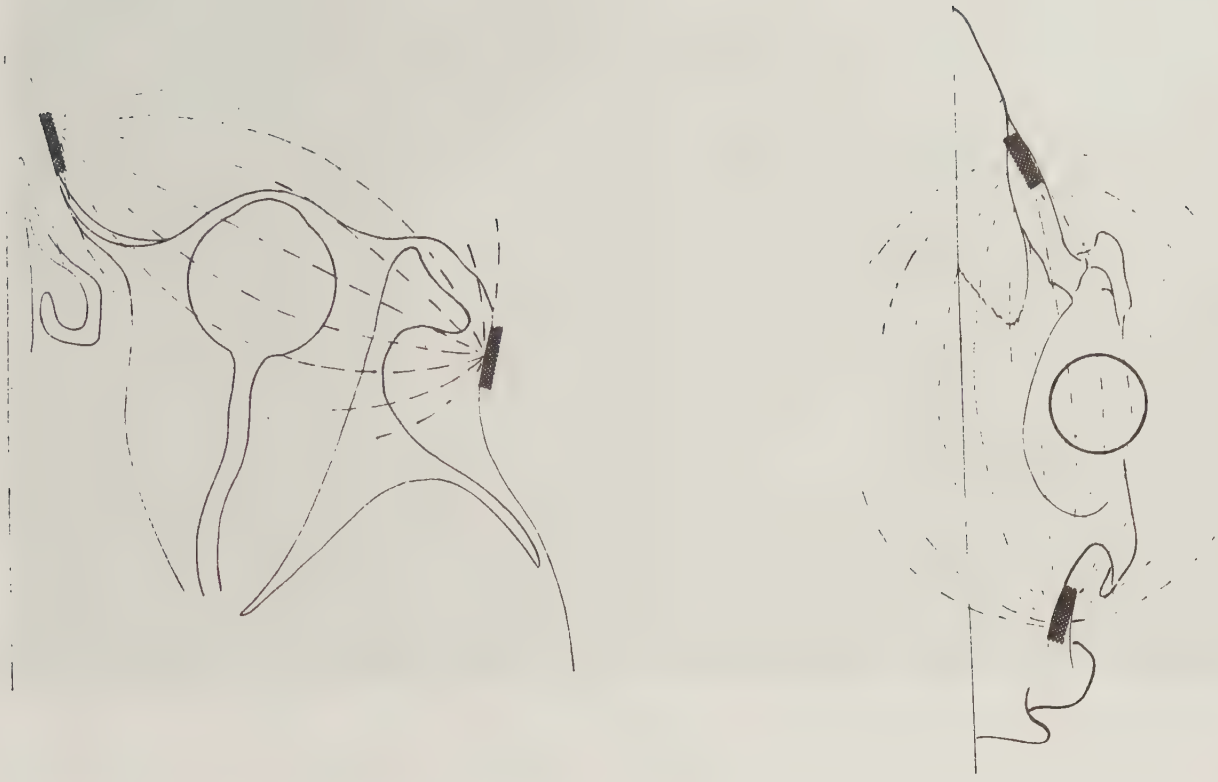


fig. 18

COUPES HORIZONTALES MONTRANT LA SITUATION DE L'OEIL DANS LE CHAMP ELECTRIQUE CHEZ L'HOMME ET CHEZ LE LAPIN.

PHOTO 3

VERRE DE CONTACT A DEUX ELECTRODES

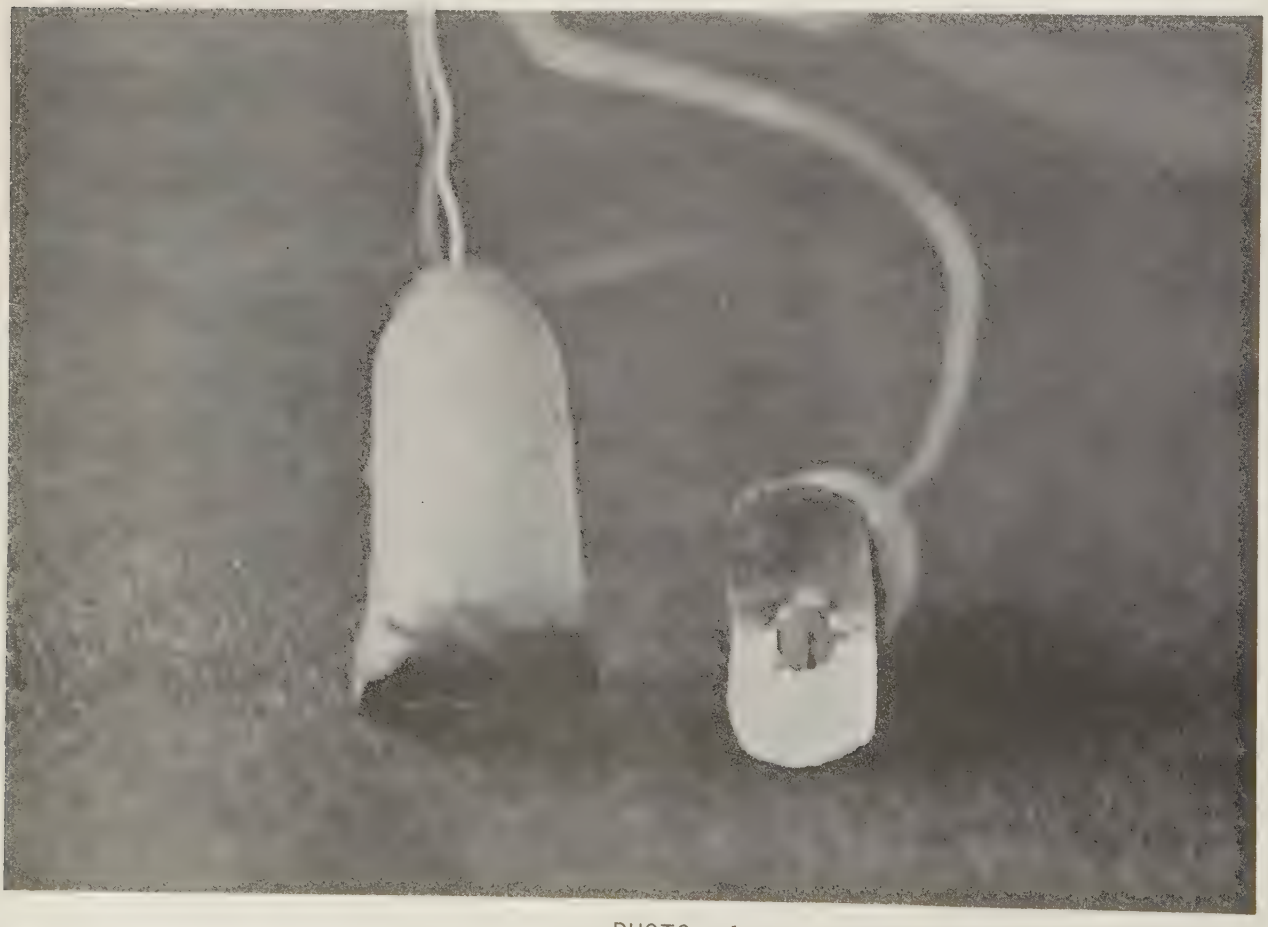


PHOTO 4

ELECTRODES VENTOUSES

Electrodes d'injection

Elles sont réalisées dans une place d'acier inoxydable de 40µ d'épaisseur. Elles ont la forme de deux petits disques de I6mm. de diamètre réalisant une surface de 2 cm2. (pour chaque électrode).
- Chez le lapin nous les avons fixées en territoire sous-cutané de part et d'autre de l'orbite : une temporale et une nasale.
- Chez l'homme, elles sont fixées de part et d'autre de l'orbite : une temporale et une nasale. Une pâte conductrice permet d'améliorer les contacts.
Une coupe horizontale montre le champ électrique ainsi créé chez le lapin et chez l'homme (Figure N° 18).

Electrodes de mesure

Nous avons utilisé pour support un verre de contact scléral dégageant complètement la cornée, de forme ovoïde très légèrement remanié pour être utilisé chez le lapin, mais tel qu'il est utilisé en clinique humaine comme conformateur des cavités conjonctivales (Photo 2).

Les électrodes sont une portion de sphère d'une surface totale de contact de 1,6 cm^2, collées à la face inférieure du verre scléral et reliées à l'extérieur par des fils souples (Photo 3)

Ainsi, nous avons fait en sorte que les électrodes soient situées aussi près que possible du globe oculaire, ne provoquant aucune pression sur l'oeil, d'où l'utilisation d'un verre de contact fixe. Les paupières étant refermées par un fil de blépharorraphie lorsque le verre de contact est en place, et l'animal dormant profondément aucun mouvement oculaire ne vient perturber le fonctionnement des électrodes, et l'enregistrement du tracé rhéographique.

Ce système a l'avantage de créer un champ électrique suffisamment étendu qui englobe tout l'oeil. Par ailleurs, les électrodes d'injection qui sont situées à distance du globe sur la peau, ne sont absolument pas agressives. Enfin les contacts sont faciles à obtenir.
Mais il présente les mêmes inconvénients que dans le cas précédent : les frottements du verre scléral sur le globe risquent de perturber les tracés.

c) = *Les électrodes ventouses* =

Elles sont confectionnées dans une plaque d'acier inoxydable de 40µ d'épaisseur perforée en son centre par un orifice de 2,5mm. de diamètre. La ventouse est en caoutchouc souple. (Photo 4).

L'électrode est rectangulaire, galbée pour épouser la convexité du globe. Sa surface est de 0,72cm2. Elle est reliée par un fil suffisamment souple pour n'exercer aucune traction une fois l'électrode en place.
Le poids d'une électrode est de 80 mg.

Ces électrodes sont destinées à être placées à un millimètre du limbe.
Elles présentent de nombreux avantages : leur fixation est relativement simple en un point choisi. Elles sont indépendantes l'une vis à vis de l'autre.

Le système de ventouse permet un contact intime de l'électrode avec le globe oculaire, supprimant les frottements donc les perturbations du tracé.

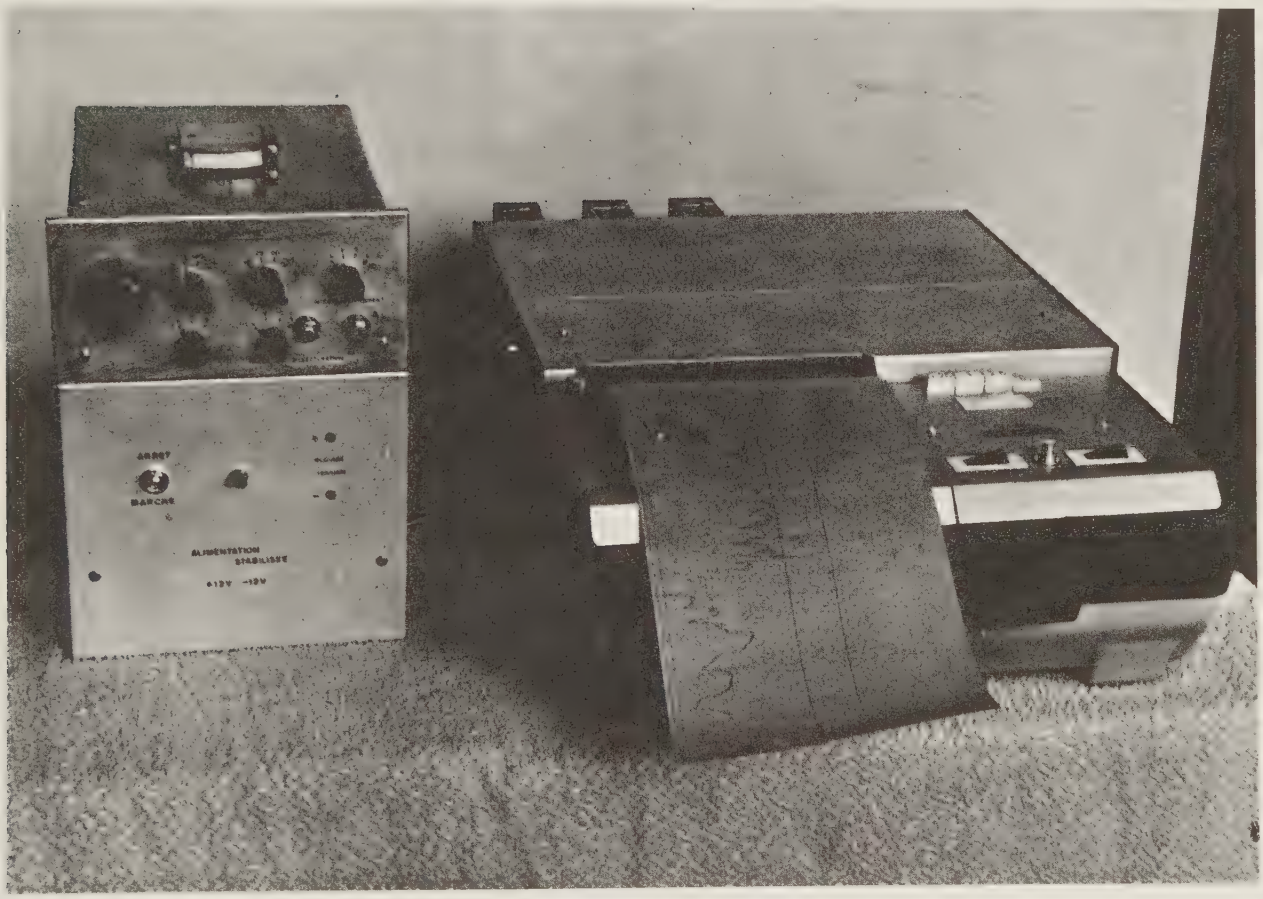
Enfin, la ventouse comprime les vaisseaux épiscléraux et supprime ainsi la circulation conjonctivale voire épisclérale, éliminant une cause d'erreur possible.

Mais elles ont l'inconvénient d'exiger une coopération du malade. Leur fixité bien que grande n'est pas à toute épreuve. On peut être amené à replacer au cours de l'enregistrement les électrodes, ce qui risque de modifier les contacts et d'introduire une cause d'erreur.

5°) --- L'APPAREILLAGE = LE RHEOGRAPHE ---

✦ *Caractéristiques électriques* =

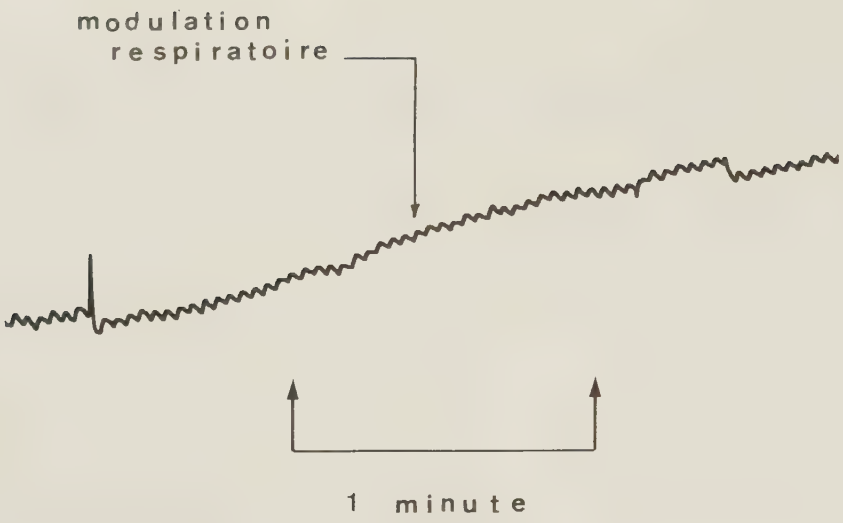
Le rhéographe tel qu'il a été conçu et réalisé pour l'utilisation de la méthode au niveau de l'oeil est présenté sur la photo 5.
Cet appareil a été réalisé grâce à la collaboration du Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique dans le cadre du Centre d'Etudes Nucléaires de GRENOBLE.



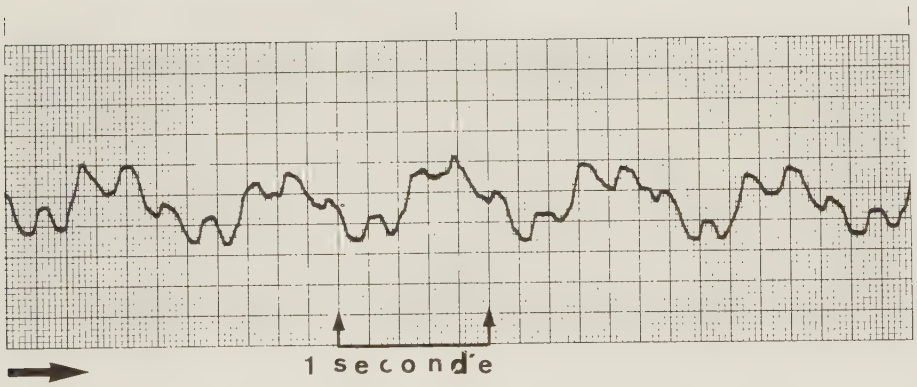
LE RHEOGRAPHE ET L'ENREGISTREUR

Les caractéristiques électriques de l'appareil sont les suivantes :

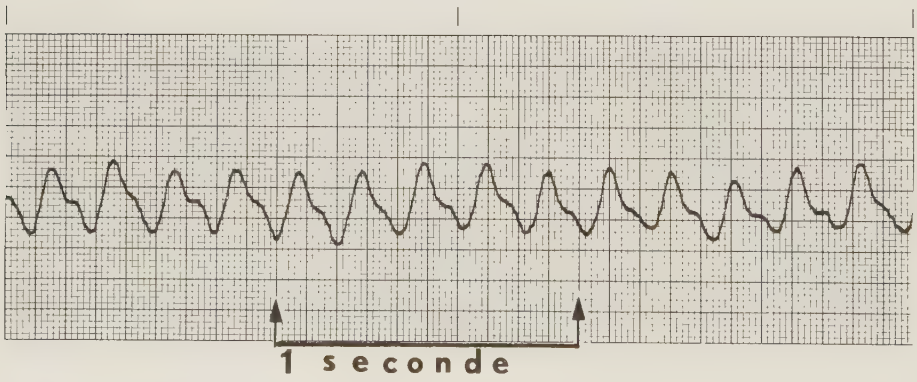
- Fréquence : 4,5 KHZ
- Courant injecté : 2,7 mA crête
  I,65mA
  800 µA
  400 µA
- Impédance d'entrée : 800 KΩ
- Sensibilité du rhéographe : enregistreur rhéographique = 3cm pour I/I00 Ω
  enregistreur Ro variable.
  sensibilité maxima = 25cm pour 0,125Ω
- Bande passante : de 0 à 20 HZ → enregistrement Ro
  de 0,5 à 20 HZ → enregistrement Rh
  de 2 à 20 HZ. → enregistrement dérivée



A



B



C

fig.19

TRACE RHEOGRAPHIQUE DE L'OEIL NORMAL.

III. - LE TRACE RHEOGRAPHIQUE DE L'OEIL NORMAL -

Le tracé rhéographique de l'oeil normal chez l'animal est présenté sur la Figure N° I9. Il présente trois sortes de variations :

I°) Des variations périodiques lentes dues à des modifications lentes des paramètres hémodynamiques : TRACE A.
On remarque déjà nettement les modulations respiratoires.

2°) Des variations périodiques de même périodicité que la respiration dues à des modifications de la pression veineuse : TRACE B.

3°) Des variations périodiques synchrones des pulsations cardiaques : TRACE B.

MORPHOLOGIE DU SIGNAL RHEOGRAPHIQUE :

• Le signal n'a pas l'aspect de l'onde artérielle habituelle. En effet le signal est amorti, filtré, son sommet est arrondi et le dichrotisme mal visible sur l'enregistrement standard.

• Le temps de montée de la courbe est dans le rapport :

0,35 : durée d'ascension.
1 : amplitude du signal.

• Ces données traduisent la faible pulsatilité de l'ensemble vasculaire de l'oeil.

Il faut avoir recours à des artifices pour mettre en évidence la modulation artérielle : c'est ce que réalise l'apnée.

Le TRACE C nous montre un enregistrement rhéographique en phase d'apnée. L'aspect dichrote du tracé artériel est ici visible.

EXPERIMENTATION

E X P E R I M E N T A T I O N

I. - LE CHOIX DE L'ANIMAL -

1°) --- L'ANIMAL ---

2°) --- L'ANESTHESIE ---

3°) --- LE MATERIEL SERVANT A LA PREPARATION DE L'ANIMAL ---

II. - LE MODE OPERATOIRE -

III. - ORIENTATION DE L'EXPERIMENTATION -

1°) --- MODIFICATIONS DES PARAMETRES HEMODYNAMIQUES ---

2°) --- SIMULATION DE CARACTERES PATHOLOGIQUES ---

3°) --- RECHERCHE D'UNE METHODE QUANTITATIVE ---

4°) --- RESUME DES OBSERVATIONS ---

I. - LE CHOIX DE L'ANIMAL -

1°) --- L'ANIMAL ---

Les premiers essais ont porté sur le chien. Nous avons pu vérifier ainsi l'obtention du signal rhéographique, ses modulations artérielles et respiratoires sur un chien endormi au Nesdonal. Nous avons vite abandonné cet animal pour des raisons pratiques :
- difficultés à se procurer l'animal (prix de revient).
- difficultés de maniement opératoire .

Le LAPIN est l'animal de choix.

Les avantages :

- facile à obtenir.
- de manipulation aisée : abord facile des paquets vasculo-nerveux du cou.
- et disposant d'un oeil de volume relativement important, pouvant facilement être appareillé avec un verre de contact.

Rappelons quelques particularités anatomiques et physiologiques du lapin :
- Il existe une carotide commune facile à aborder, le long de laquelle se trouve le Pneumogastrique.
- Une volumineuse jugulaire externe plus superficielle.
- L'oeil de lapin ne dispose pas de canal de Schlemm mais d'un réseau d'évacuation diffus, mal systématisé, qui en fait joue le même rôle et permet une étude tout à fait analogue à celle de l'oeil humain.
- Le rapport entre le poids du sang et le poids du corps est de : 1/32.

2°) --- L'ANESTHESIE ---

Il s'agit d'une anesthésie générale, qui est poursuivie pendant toute la durée de l'expérimentation, qui dure plusieurs heures. Nous avons essayé le Chlorhydrate de Kétamine ou Kétalar qui présente en fait plusieurs

inconvénients : il aurait tendance à entraîner une élévation du tonus oculaire. De plus, il donne une rigidité, un aspect figé de l'animal, une hypertonie qui gêne considérablement la conduite de l'expérimentation et qui nous a fait renoncer très vite à ce type d'anesthésie.

L'éther n'a pas été utilisé seul mais comme complément d'anesthésie. Nous avons utilisé de préférence le *NESDONAL*, à raison de 5 centigrammes par centimètre cube. Injecté par voie intra-veineuse, en doses fractionnées tout au long de l'expérimentation, il a l'avantage d'avoir un effet rapide, de maintenir l'animal dans un sommeil profond qui nous permet des manipulations sur l'oeil sans danger, mais il a l'inconvénient, injecté trop rapidement ou à trop fortes doses, d'entraîner une apnée, une hypotension importante, voie un arrêt cardiaque ou des troubles du rythme.

Ces incidents nous sont arrivés deux fois. Ils sont rapportés dans nos observations.

Nous avons utilisé par la suite des doses fractionnées, I/4 de cc. en injection intra-veineuse toutes les demi-heures environ.

3°) --- LE MATERIEL ---

servant à la préparation de l'animal.

Nous avons utilisé dans tous les cas une ventilation si possible spontanée par trachéotomie, mais quelque fois une ventilation assistée avec l'appareil "Claude BERNARD".

Les vaisseaux ont été canulés par les cathéters en Téflon qui ont l'avantage d'être rigides et de faible capacité. Nous avons utilisé dans tous les cas les vaisseaux gauches alors que nous enregistrions le rhéogramme oculaire droit. Ceci afin de pouvoir pratiquer des manoeuvres sur les vaisseaux sains du côté de l'oeil exploré.

II. - LE MODE OPERATOIRE -

La manipulation est donc conduite de la façon suivante.

- Lapin de deux kilos en général.
- L'anesthésie générale par voie intra-veineuse est réalisée après cathétérisme de la veine de l'oreille du lapin. Le cathéter est laissé en place, ce qui nous donne une excellente voie veineuse pour les perfusions tout au long de la manipulation.
- Le lapin est hépariné.

L'animal est ensuite allongé sur le dos, fixé à la table de manipulation ; on réalise alors rapidement une trachéotomie et on met en place une sonde de calibre N°15. .
Si besoin, l'animal est ventilé, sinon on réalise en premier lieu l'abord de la jugulaire, puis de la carotide, du côté gauche. La partie céphalique de la jugulaire est utilisée pour la prise de pression veineuse, la partie distale est utilisée comme voie d'injection intra-veineuse directe dans l'organisme, et mise en attente dans ce but. La carotide est cathétérisée pour la prise de la pression artérielle et liée en aval.

Les électrodes sont alors installées sur l'oeil droit, incision cutanée et dissection du tissu sous-cutané permettant la mise en place des deux électrodes d'injection ; elles sont fixées par un point à la soie noire 3/0 de manière à ne pas avoir d'ennuis au cours de la manipulation.

Ensuite est installé le verre de contact. Du fait de l'étroitesse de la fente palpébrale du lapin, il est nécessaire de pratiquer une canthotomie ; afin que le verre de contact ne bouge plus un point de blépharorraphie est mis en place à la soie noire 2/0.

Signalons que nous avons utilisé avec succès chez l'animal les électrodes ventouses.

Pour la prise de pression intra-oculaire, un cathéter en Téflon est installé dans la chambre antérieure après une paracentèse près du limbe, fixé par un fil noir pour cornée 5/0 préalablement mis en place en bourse autour de l'orifice de paracentèse.

Les têtes de pression sont ensuite purgées, nettoyées et raccordées à l'animal par des tubes Téflon de très faible capacité. Les appareils d'enregistrement sont prêts à fonctionner et les manipulations peuvent alors se dérouler.

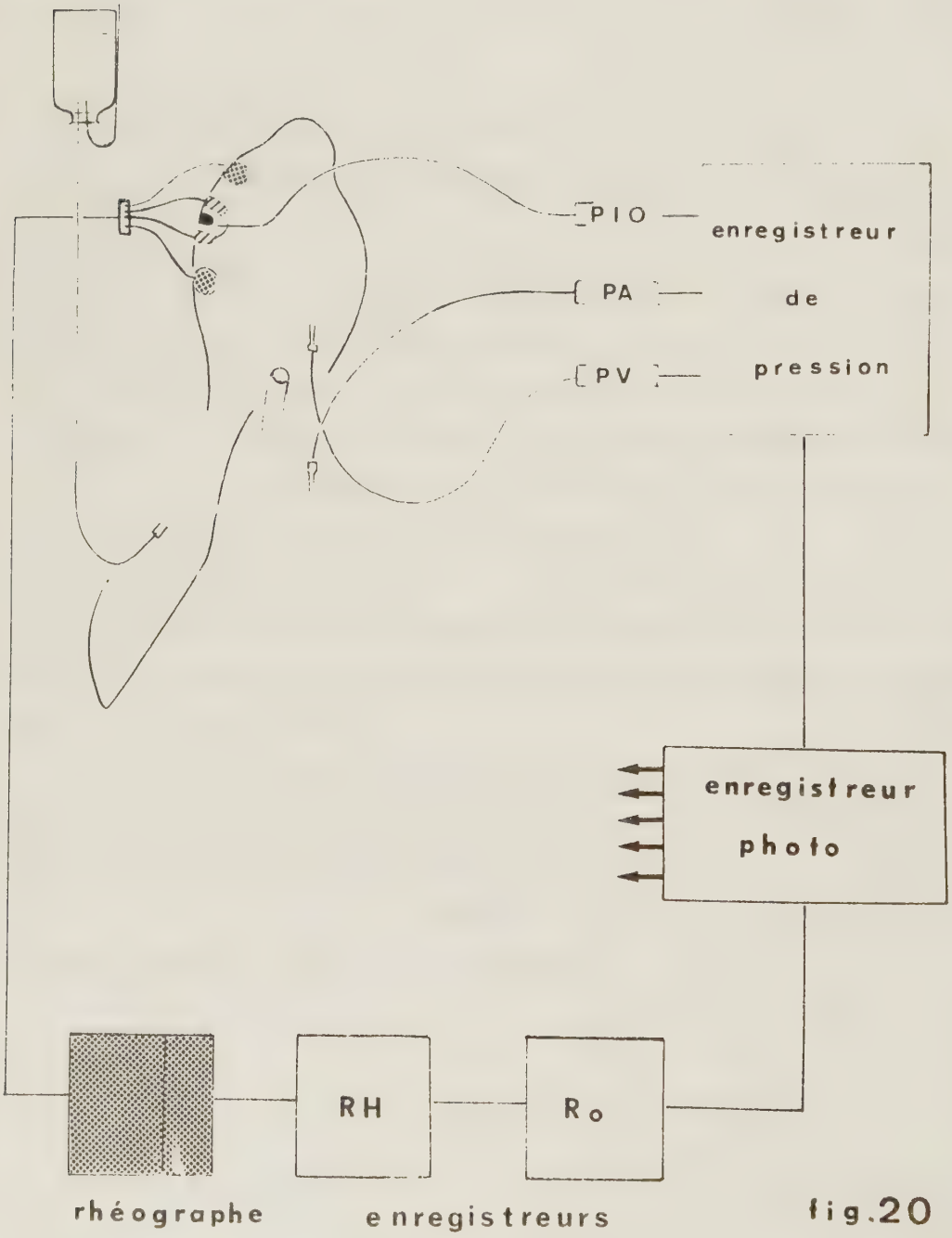


fig.20

SCHEMA GENERAL D'UNE MANIPULATION

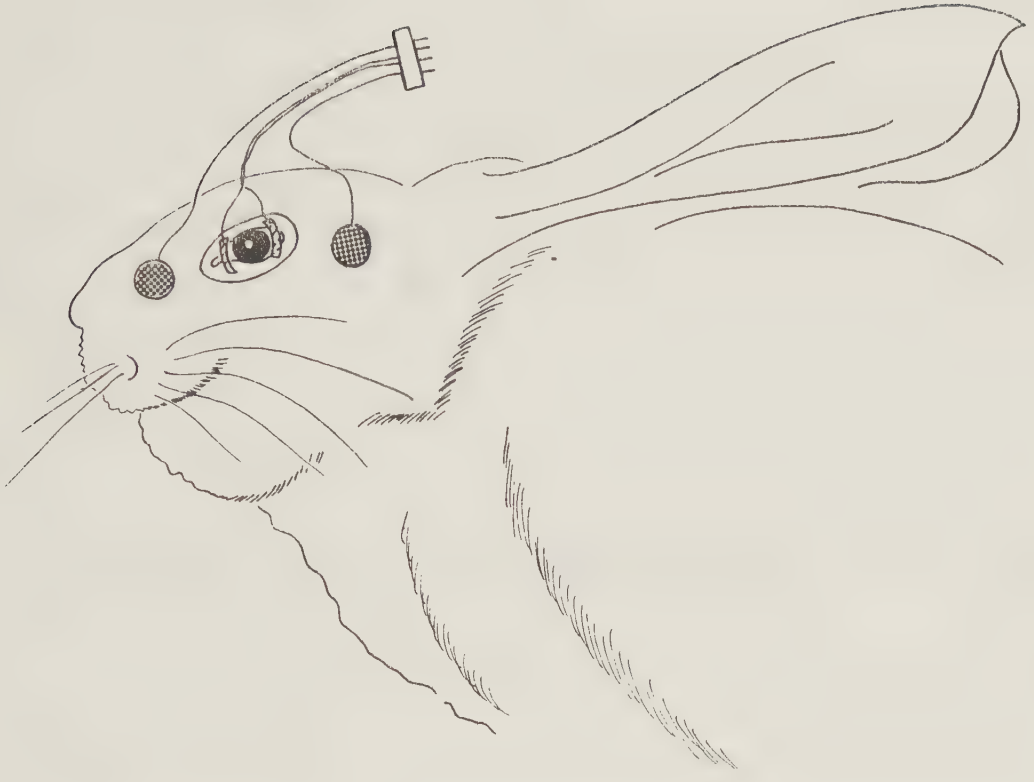


fig. 21

SCHEMA DE LA POSITION DES ELECTRODES SUR L'ANIMAL

- On remarque les deux électrodes "d'injection", circulaires, de part et d'autre de l'oeil.
- Les deux électrodes intercalaires "de mesure" au contact du globe portées par un verre scléral.

Nous présentons sur la Figure N° 22 un enregistrement tel qu'il a pu être réalisé sur l'enregistreur photographique. Il montre (à deux vitesses différentes de déroulement de la bande d'enregistrement) :

De haut en bas :

Tracé A = le tracé rhéographique oculaire.
Tracé B = la résistance de base Ro.
Tracé C = la courbe de pression veineuse.
Tracé D = la courbe de pression artérielle.
Tracé E = la courbe de pression intra-oculaire.

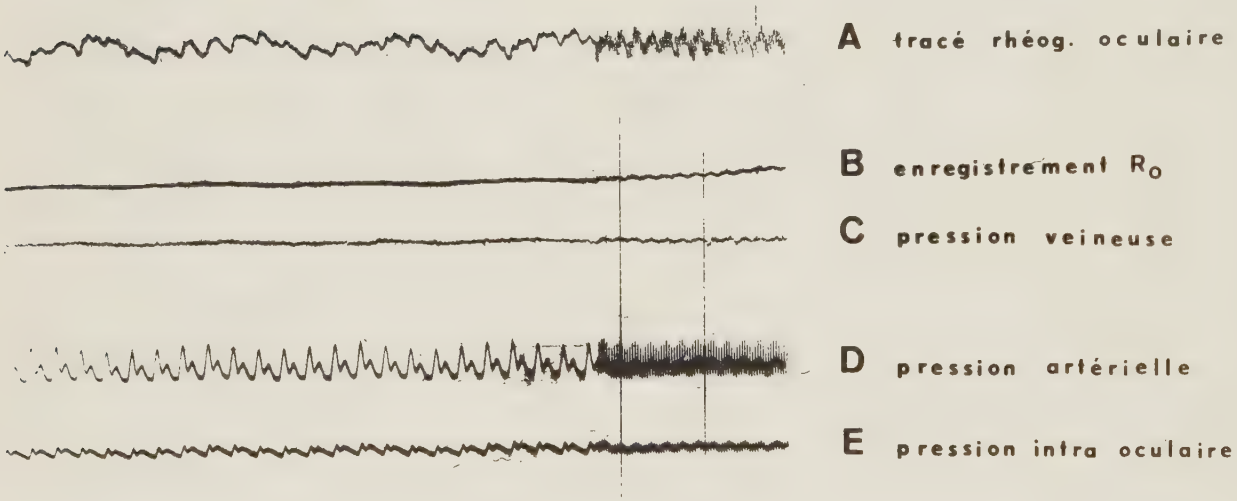


fig.22

III. - ORIENTATION DE L'EXPERIMENTATION -

I°) --- MODIFICATIONS DES PARAMETRES HEMODYNAMIQUES ---

Nous avons vu sur le tracé rhéographique normal les différentes modulations d'origine artérielle, ou d'origine veineuse.

Nous nous sommes donc efforcé au cours de l'expérimentation d'analyser chacune de ces modulations en la dissociant si possible des autres et ceci par des substances diverses.

Il faut signaler en ce qui concerne cette étude pharmacodynamique que telle ou telle substance agit toujours de façon diffuse sur les différents récepteurs, les phénomènes analysés sont donc la résultante au niveau d'un organe donné d'effets divers parfois opposés.

Pour éviter si possible la mise en jeu de phénomènes régulateurs les nerfs pneumogastriques sont sectionnés avant les études pharmacodynamiques.

2°) --- SIMULATION DES CARACTERES PATHOLOGIQUES ---

Le protocole est relativement plus simple. Nous avons réalisé des obstructions artérielles, veineuses, des asphyxies mécaniques.

Nous regrettons de n'avoir pas pu réaliser parfaitement une pathologie expérimentale vraie comme le glaucome et de ne pas pouvoir présenter des tracés valables. Ce seul point précis fera l'objet de travaux expérimentaux complémentaires.

3°) --- RECHERCHE D'UNE METHODE QUANTITATIVE ---

Nous avons recherché enfin à mettre au point une méthode quantitative.

Le but est d'appliquer à l'homme ultérieurement une méthode de mesure valable.

- Sur l'enregistrement du rhéogramme ordinaire on pourra tenter d'évaluer l'amplitude du signal.
- Grâce à des modifications de posture on entraîne des modifications des pressions d'écoulement.
- Plus intéressant peut être est l'utilisation de "*marqueurs résistants*". Rappelons que la valeur de la résistance d'un segment anatomique exploré entre deux électrodes est donné par l'équation :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

où ρ est la résistivité du milieu étudié.

En modifiant le facteur ρ si L et S ne varient pas, on peut modifier R et surtout mesurer R en fonction de ρ .

Si l'on injecte dans l'organisme une quantité donnée d'une solution de résistivité connue, par des enregistrements de R et des mesures de résistivité du milieu ρ à des moments précis, on peut proposer une méthode de mesure de la circulation de l'oeil

Cette possibilité d'appréciation quantitative par un marqueur résistant est une des nombreuses possibilités que nous offre la rhéographie oculaire à quatre électrodes.

Elle mérite à elle seule une étude approfondie du milieu étudié des solutions utilisables, du comportement des membranes de l'oeil vis à vis de ces produits.

4°) --- RESUME DES EXPERIMENTATIONS ---

GENERALITES

Nous avons utilisé :

- des lapins de sexe indifférent.
- race : indifférente.
- poids approximatif : deux kilogrammes.

L'animal est hépariné dès le début de la manipulation.

EXPERIMENTATION "L1"

Anesthésie générale : Nesdonal à doses fractionnées de I/2cm3 (0,5g dans IOcc.) dans la veine de l'oreille.

Trachéotomie et sonde : respiration spontanée.

Abord des vaisseaux :
- carotide gauche.
- jugulaire gauche.

Mise en place des cathéters.
Branchement sur capteurs de pression.
Tension artérielle - 12.

Mise en place d'un verre de contact et de deux électrodes d'injection sur l'oeil opposé au côté des vaisseaux canulés.

Enregistrement.
Epreuve pharmacodynamique - Injection d'Arfonad.
Chute de la tension artérielle - Mort par arrêt cardiaque -
Echec de la réanimation.

EXPERIMENTATION "L2"

Anesthésie générale : Nesdonal (induction par intra-veineuse à l'oreille)
Trachéotomie - Intubation - Ventilation assistée temporaire.
Abord des vaisseaux :
- cathétérisme de la carotide gauche pour pression artérielle.
- cathétérisme de la jugulaire gauche - perfusion de substances pharmacodynamiques.

Installation des électrodes à rhéographie du côté opposé à l'abord vasculaire.
Plusieurs incidents : l'animal se réveille et arrache les cathéters.

Epreuves effectuées :
- variations posturales.
- section des pneumogastriques
- épreuves pharmacodynamiques.
- clampage artériel.
- asphyxie.
- sacrifice de l'animal par injection de Nesdonal.

EXPERIMENTATION "L3"

Anesthésie générale : Nesdonal intra-veineux dans la veine de l'oreille.
Trachéotomie - Intubation.
Mise en place des cathéters.
Abord des vaisseaux :
- cathéter intra-artériel : carotide gauche.
- cathéter intra-veineux : jugulaire gauche.

Installation des électrodes à rhéographie du côté opposé à l'abord vasculaire.
Epreuves effectuées :
- épreuves posturales.
- section des pneumogastriques.
- épreuves pharmacodynamiques.
- clampage carotide
- épreuves pharmacodynamiques.
- Mort par injection de Nesdonal.

EXPERIMENTATION "L4"

Anesthésie générale : Nesdonal intra-veineux dans la veine de l'oreille.
Trachéotomie - Intubation - Respiration spontanée.
Installation des électrodes.
Installation d'un cathéter dans la chambre antérieure (fixé par un fil noir 5/0 à la cornée).
Cathéterisme des vaisseaux :
- carotide gauche pour prise de la pression artérielle.
- jugulaire gauche pour prise de la pression veineuse.

Mise en place des trois têtes de pression.
- Epreuves posturales : lentes - rapides.
- section des pneumogastriques.
- épreuves pharmacodynamiques.
- clampage vasculaire.
- Asphyxie.
- Glaucome expérimental par ligature des veines vortiqueuses.
- clampage vasculaire.
- Asphyxie.
- Mort par injection d'une dose importante de Nesdonal.

EXPERIMENTATION "L5"

Anesthésie générale : Nesdonal intra-veineux après cathétérisme de l'oreille.
Trachéotomie - Intubation.
Abord des vaisseaux :
- carotide gauche.
- jugulaire gauche.

Le lapin se réveille.
- I/4cm3 de Nesdonal.
Arrêt cardiaque - Echec de la réanimation.

EXPERIMENTATION "L'5"

Anesthésie générale : Nesdonal intra-veineux dans la veine de l'oreille.
Trachéotomie - Intubation.
Abord des vaisseaux :
- cathétérisme de la jugulaire gauche (portion céphalique) pour prise de la pression veineuse.
- cathétérisme de la carotide gauche pour prise de la pression artérielle.
- cathéter dans la chambre antérieure de l'oeil droit fixé par un fil noir pour cornée 5/0.

Branchement des têtes de pression.
Installation des électrodes à rhéographie du côté opposé à l'abord vasculaire.
Epreuves effectuées :
- épreuves posturales.
- sections nerveuses (Pneumogastriques droit et gauche).
- épreuves de clampage vasculaire.
- épreuves pharmacodynamiques.

EXPERIMENATION "L6"

Anesthésie générale : Nesdonal intra-veineux dans la veine de l'oreille droite (I/4cm3 à 0,05g. par cm3) - Perfusion de glucose.
Installation de l'animal sur la table.
Trachéotomie.
Cathétérisme de la carotide gauche pour prise de la pression artérielle.
Installation des électrodes à l'oeil droit.
Fixation dans la chambre antérieure de l'oeil gauche d'une aiguille pour mesurer la pression intra-oculaire.
Branchement des appareils.
Incidents provenant des appareils enregistreurs.

Finalement, on étudiera essentiellement les effets des perfusions sur les enregistrements suivants :
- résistance - Ro
- pression veineuse.
- pression artérielle.

Le rhéogramme oculaire sera développé aux divers temps :
- mesure impédance de l'oeil droit selon la fréquence du courant injecté.
- perfusion de glucosé à 5%.
Deux effets sont réalisés par la voie de l'oreille droite.
- perfusion du sérum salé CLNa à 9°/oo
- clampage de la jugulaire droite.
Deux effets
- clampage de la carotide droite :
le rhéogramme se modifie - disparition de la modulation artérielle. Il ne subsiste que la modulation veineuse.
- perfusion de glucosé à 5% dans la jugulaire directement.
prélèvement de sang au moment où la résistance est la plus basse.

Le lapin se réveille brutalement.
Injection de CLK (ampoule de IOcm3).

Mort
Prélèvement de Icm3 de Vitré pour mesure de la résistivité.

EXPERIMENTATION "L7"

Anesthésie générale : Nesdonal intra-veineux à l'oreille.
Installation de l'animal.
Trachéotomie.
Abord des vaisseaux :
- cathétérisme de la jugulaire gauche :
  . portion céphalique pour prise de la pression veineuse.
  . portion distale pour injection directe de substances pharmacodynamiques ou prélèvements d'échantillons sanguins.

- cathétérisme de la carotide gauche pour prise de la pression artérielle.

Mise en place d'un verre de contact et de deux électrodes d'injection sur l'oeil opposé au côté des vaisseaux canulés.

- Préparation des Pneumogastriques sur un lac.

Du fait de la panne d'une piste du Monitoring, la pression intra-oculaire n'a pu être mesurée pendant toute la manipulation.

Branchement et étalonnage des appareils enregistreurs.
Epreuves effectuées :
- épreuves posturales.
- section des Pneumogastriques.
- épreuves de clampage vasculaire.
- épreuves pharmacodynamiques.

Effets - perfusion.
L'animal se réveille brutalement et arrache une partie des électrodes.
On remplace alors le montage précédent par un verre de contact à quatre électrodes.
Clampage vasculaire.
Effets perfusion après clampage vasculaire.
Injection de Nesdonal.

Mort.
Prélèvement de I/2cm3 d'Humeur aqueuse de l'oeil droit puis de l'oeil gauche, pour mesure de la résistivité.

EXPERIMENTATION "L8"

Anesthésie générale : Nesdonal intra-veineux dans la veine de l'oreille.
Trachéotomie - Respiration spontanée.
Abord et cathétérisme de la jugulaire gauche.
Prélèvement de Icm3 de sang hépariné et mesure de la résistivité.
Mise en place des électrodes à rhéographie.
(essai infructueux des électrodes ventouses).
Mesure des impédances entre électrodes.
Enregistrement du rhéogramme.
Prélèvement d'Humeur aqueuse par ponction de la chambre antérieure, oeil droit, oeil gauche, et mesure de la résistivité.

Sacrifice de l'animal par injection d'une forte dose de Nesdonal :
- enregistrement du signal rhéographique à la phase d'apnée - modulations artérielles seules.
- enregistrement de Ro pendant la mort de l'animal.

Prélèvement des deux yeux pour l'étude des relations pression - volume.

EXPERIMENTATION "L9"

Anesthésie générale par Nesdonal - oreille droite - Héparinisation.
Trachéotomie - Intubation - ventilation spontanée.
Abord des vaisseaux gauches :

- jugulaire
  - . portion céphalique pour prise des pressions.
  - . portion distale pour injections intra-veineuses directes.

- carotide
  - . portion céphalique pour injections.
  - . portion distale pour prise des pressions.

Lors de la mise en place du cathéter dans la carotide, l'animal s'agite et une abondante hémorragie se produit modifiant ainsi certainement la masse sanguine de l'animal et perturbant de ce fait les enregistrements effectués après injection de substances de résistivité donnée différente du sang.

Repérage du nerf pneumogastrique.
Dissection et préparation des vaisseaux droits.
Mise en place des deux électrodes d'injection pour rhéographie.
Pour les électrodes servant à la mesure, les électrodes ventouses sont utilisées avec succès. Les contacts sont favorisés par l'instillation d'une goutte de Méthyl cellulose à 2%.

Raccordement des appareils de mesure.
Enregistrement :
- tracé normal - rhéogramme.
  - Ro
  - Pression artérielle.
  - Pression veineuse.

- Injection intra-veineuse de "marqueurs résistants"
    - sérum glucosé.
    - sérum salé.
    - Mannitol.
- Epreuve de clampage vasculaire.
    - veineux seul.
    - artériel seul.
    - artériel et veineux.
- Etude de l'effet de l'injection de Diamox sur Ro.
- Injection de Nesdonal.

Etude du signal rhéographique en période terminale.

RESULTATS

R E S U L T A T S

I. - ETUDE DES RELATIONS EXISTANT ENTRE LES MODIFICATIONS DES PARAMETRES CIRCULATOIRES ET LES TRACES RHEOGRAPHIQUES.

I°) --- La section des Pneumogastriques.

2°) --- Les épreuves pharmacodynamiques.

= *Effets des vasoconstricteurs.*
= *Effets des vasodilatateurs.*
= *Effets de la Procaïne.*
= *Effets du Nesdonal.*

Conclusions.

II. - LES MODIFICATIONS DU TRACE RHEOGRAPHIQUE EN FONCTION DES CARACTERES FRANCHEMENT PATHOLOGIQUES.

I°) --- Modifications de la pression artérielle.

2°) --- Modifications de la pression veineuse.

3°) --- Etude des paramètres au cours de la mort.

Conclusions.

III. - RECHERCHE D'UNE METHODE QUANTITATIVE -

I°) --- Etude des tracés rhéographiques.

2°) --- Modifications posturales.

3°) --- Etude des marqueurs résistants.

Conclusions.

La complexité des phénomènes hémodynamiques qui se déroulent dans les conditions physiologiques et plus encore dans les conditions expérimentales est telle que l'interprétation des réponses obtenues doit être donnée avec la plus grande prudence.

C'est pourquoi nous nous attacherons à constater aussi précisément que possible le phénomène physiologique avant de tenter sa compréhension.

I. - ETUDE DES RELATIONS EXISTANT ENTRE LES MODIFICATIONS DES PARAMETRES CIRCULATOIRES ET LES TRACES RHEOGRAPHIQUES.

Nous avons fait précéder les études pharmacodynamiques de vagotomies.

1°) --- ETUDE DES EFFETS DE LA SECTION DES NERFS PNEUMOGASTRIQUES (X).

La section du nerf Pneumogastrique droit est la plus démonstrative par ses effets cardio-respiratoires et vasculaires.

Nous séparons artificiellement pour la facilité de l'étude le tracé en trois parties. Figure N° 23.

* Première phase =

Après une très brève période d'hypotension avec bradycardie (probablement par effet d'excitation mécanique du Pneumogastrique lors de la section). La suppression du tonus vagal provoque :

- une élévation progressive de la pression artérielle avec un certain degré de tachycardie.
- une augmentation simultanée de la pression intra-oculaire (Pio) et de la pression veineuse. (Pv)
- enfin la résistance de base Ro subit une chute importante.

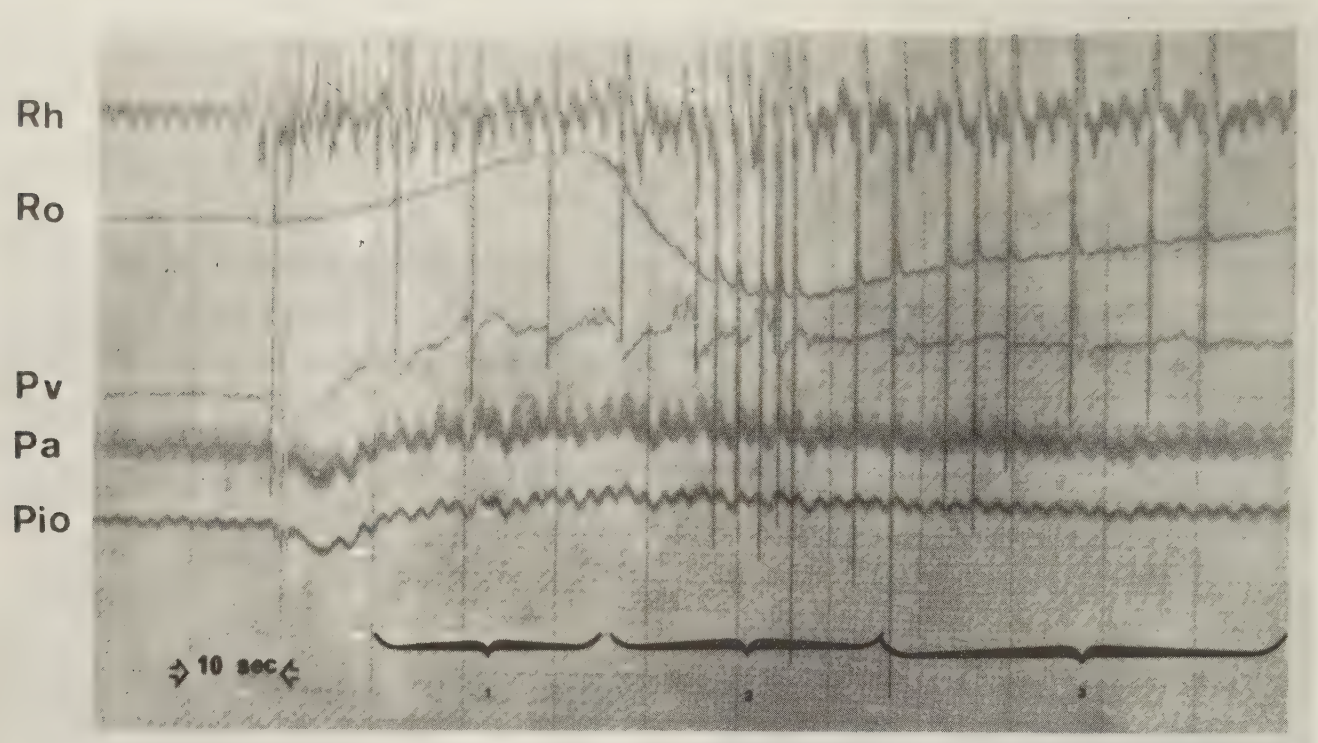
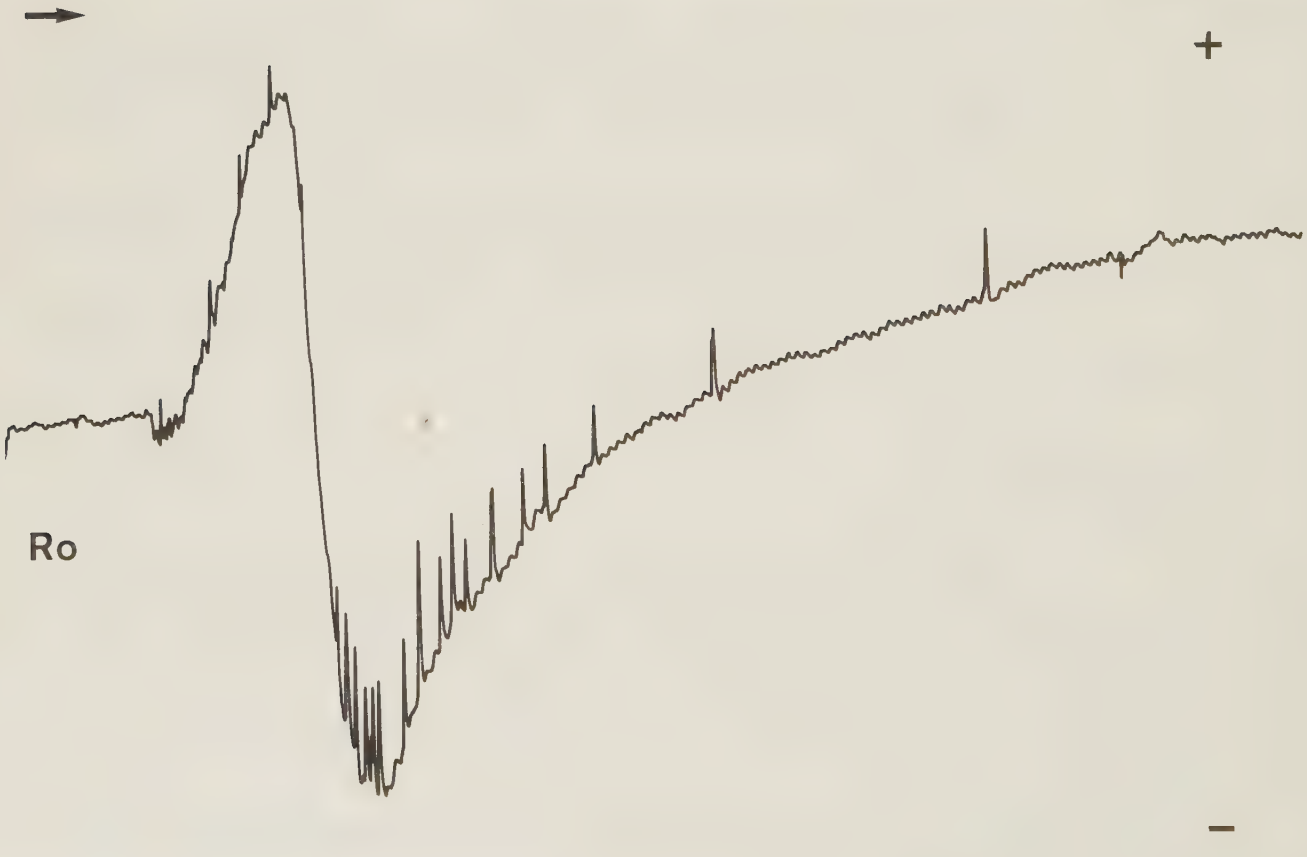


fig 23



EFFETS DE LA SECTION DU NERF PNEUMOGASTRIQUE DROIT.

L'ensemble de ces phénomènes semble dû principalement aux effets cardiaques, car dans une

• deuxième phase =

il semble que ce soient les effets vasculaires de la section des Pneumogastriques qui entrent en jeu.

- diminution progressive de la pression artérielle et intra-oculaire.
- augmentation de Ro ce qui traduit une diminution du calibre des vaisseaux.

Mais déjà l'organisme s'adapte aux nouvelles conditions et dans la

• troisième phase =

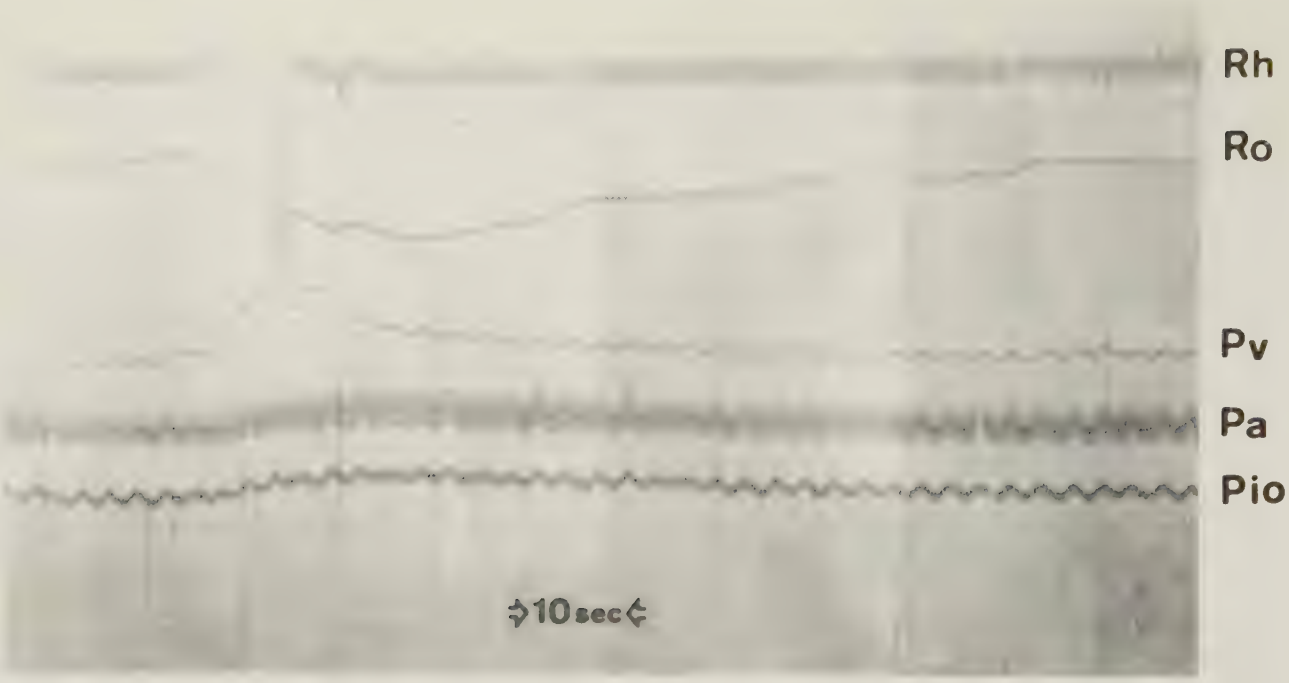
se recrée progressivement un nouvel équilibre.
La pression artérielle revient à sa valeur initiale.
La pression intra-oculaire reste très légèrement supérieure.
La pression veineuse se stabilise à un chiffre nettement au-dessus de la valeur initiale.
Ro enfin est très légèrement au-dessous de sa valeur primitive (car la pression veineuse reste supérieure à son chiffre initial).

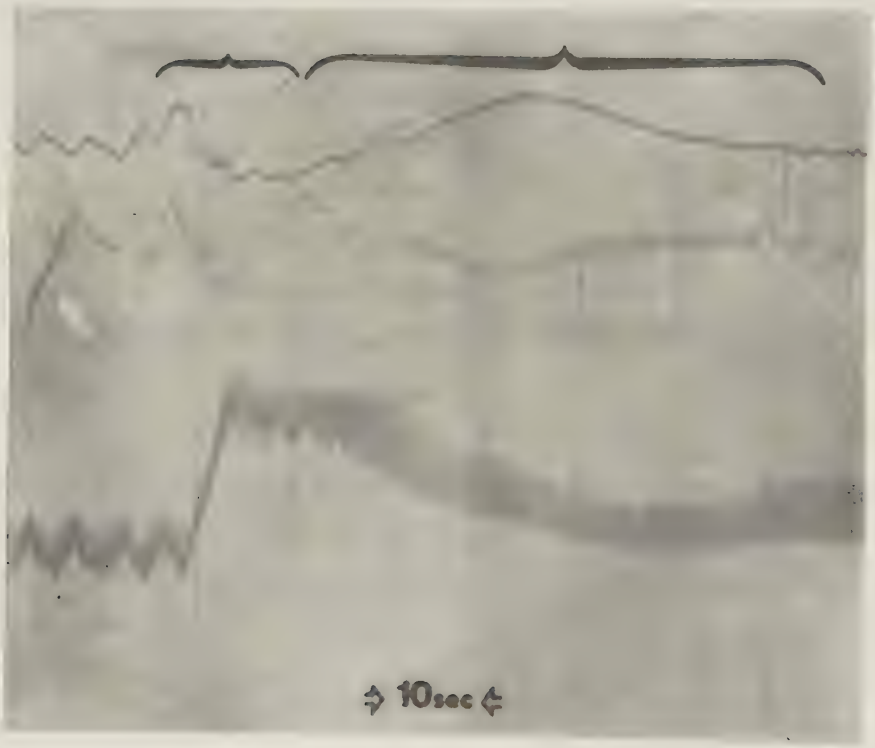
• Remarque :

Les accidents respiratoires se retrouvent très nettement sur les tracés rhéographiques oculaires, et l'on note des modulations amples dues à une respiration saccadée qui entraîne de grands déplacements des courbes de Ro et Rh.

Donc le nerf Pneumogastrique par ses effets cardio-vasculaires modifiant le calibre des vaisseaux produit des modifications de Ro. Sa section,par les troubles respiratoires qu'elle entraîne, montre bien la concordance entre phénomènes respiratoires, c'est-à-dire finalement veineux et le tracé rhéographique.

Les mêmes effets mais à un degré moindre se produisent lors de la section du nerf Pneumogastrique gauche.





1 sec

fig.24

EFFETS DE L'INJECTION D' ADRENALINE.

2°) --- ETUDE DES EPREUVES PHARMACODYNAMIQUES ---

Nous avons modifié artificiellement mais dans des limites compatibles avec la vie de l'animal les conditions hémodynamiques de base en injectant par voie intra-veineuse des substances variées agissant de façon préférentielle sur le calibre des vaisseaux.

= *Les effets des vasoconstricteurs* =

Pour leur étude, nous avons utilisé des solutions d'Adrénaline à $1.\ 10^{-4}$. Une fraction de centimètre cube de la solution est injectée directement par voie intra-veineuse en un temps assez bref.

Sur l'enregistrement de la Figure N° 24 -I on note dans une première phase une augmentation nette de la pression artérielle (Pa) (celle-ci reste élevée relativement longtemps).
La pression intra-oculaire (Pio) suit tout à fait la pression artérielle.
La pression veineuse (Pv) augmente.
La résistance Ro augmente de façon nette, sa variation est à peine décalée par rapport à la variation de la pression veineuse.

Dans une deuxième phase tandis que l'effet de l'Adrénaline s'épuise, la pression artérielle, la pression intra-oculaire et la pression veineuse rejoignent leur valeur initiale, de même que la résistance Ro = sa décroissance est lente et suit le retour à la normale de la pression veineuse.

A dose plus importante, ce sont les effets cardio-respiratoires de l'Adrénaline qui prédominent et l'on observe sur la Figure N°23-II.

- à la phase initiale : une hypertension artérielle avec bradycardie, une apnée secondaire à l'hypertension (stimulation des baro-récepteurs) fait disparaître sur tous les tracés la modulation respiratoire.
- une chute de la pression veineuse.
- mais une deuxième phase : la pression artérielle reste élevée en plateau puis diminue, la pression veineuse elle, remonte.

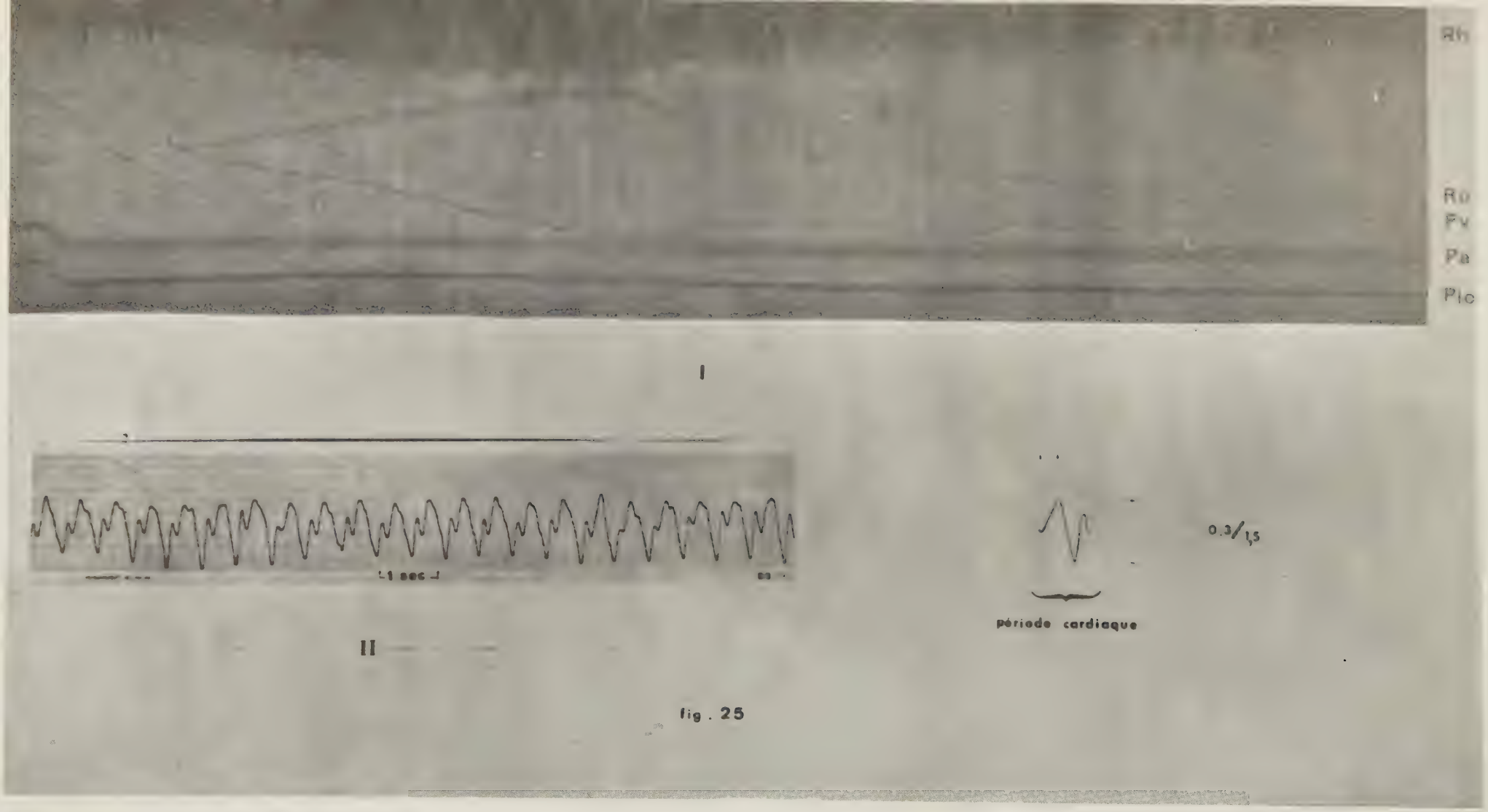


fig . 25

I = ETUDE DES EFFETS DE LA PILOCARPINE

II = TRACE RHEOGRAPHIQUE OCULAIRE PRIS AU MOMENT OU LA PRESSION VEINEUSE EST LA PLUS BASSE.

On observe enfin une très nette augmentation de l'amplitude du tracé rhéographique. La modulation artérielle est en quelque sorte plus facile à "extraire" en l'absence de modulation respiratoire. Ceci correspond d'ailleurs à une augmentation de la pression artérielle différentielle. (elle se trouve multipliée par deux environ), c'est-ce-que nous montre le Tracé III enregistré pendant la phase d'amplitude maxima du rhéogramme : on retrouve la variation artérielle presque pure.

* En résumé =

L'Adrénaline entraîne une réduction du calibre vasculaire par une vasoconstriction rapide qui explique l'augmentation de la résistance Ro et la chute initiale de la pression veineuse puis secondairement sous l'effet de l'afflux sanguin déplacé par la vasoconstriction la pression veineuse augmente et le sens de la variation de la courbe Ro s'inverse.

= *Les effets des vasodilatateurs* =

Pour l'étude des effets inverses : augmentation du calibre des vaisseaux par vasodilatation, nous nous sommes adressé aux excitateurs spécifiques du parasympathique ou aux parasympathicomimétiques.

Nous avons étudié les effets de l'injection intra-veineuse directe de I/4 de cc. de Nitrate de Pilocarpine à 1%.

Sur la Figure N° 25 , on observe :

- Une chute tensionnelle importante avec bradycardie et augmentation de l'amplitude de la variation.
- simultanément la pression intra-oculaire s'abaisse.
- la pression veineuse s'abaisse très rapidement : la vasodilatation périphérique et la bradycardie en sont responsables.

On distingue nettement sur le tracé que la modulation respiratoire est nettement estompée alors que la modulation artérielle devient très prépondérante.

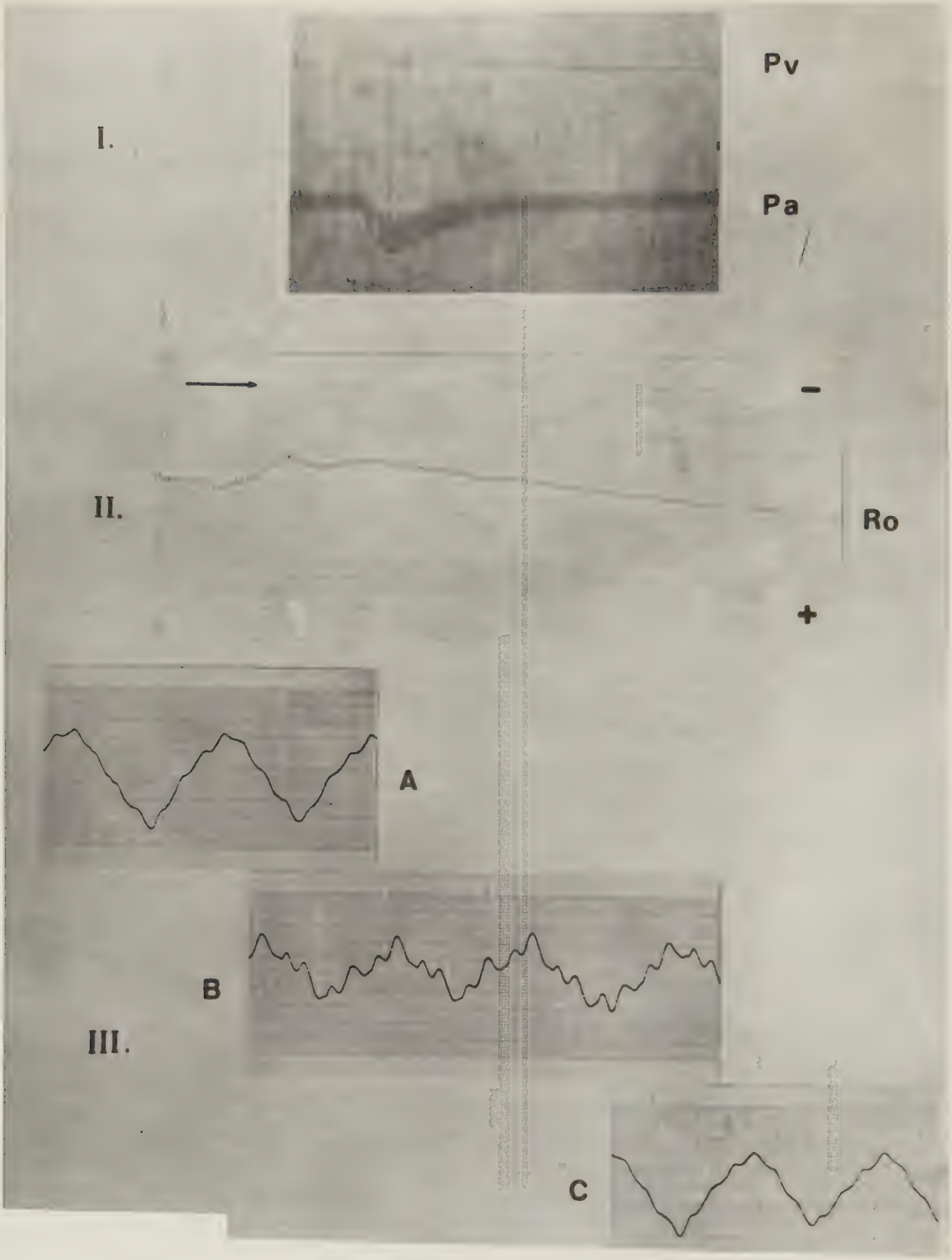


fig. 26

EFFETS DE L'INJECTION DE PROCAINE

- L'augmentation du calibre des vaisseaux par vasodilatation entraîne une diminution de la résistance Ro. Là encore, on voit nettement la prédominance du phénomène artériel sur le phénomène respiratoire.

Les veines deviennent en quelque sorte "pulsatiles".

- Sur le rhéogramme oculaire Rh on constate une augmentation considérable de la variation qui atteint un maximum lorsque la pression veineuse Pv est la plus basse. Le tracé II de la Figure N° 25 montre bien ce phénomène.

Ensuite progressivement chaque paramètre rejoint une valeur stable.

- le rhéogramme oculaire diminue d'amplitude.
- La pression veineuse remonte très lentement.
- La pression artérielle ne revient pas immédiatement à sa valeur initiale car l'effet cardiaque est prolongé.
- La résistance Ro augmente et revient plus rapidement à la normale que la pression veineuse ; la modulation artérielle diminue d'amplitude tandis que réapparaît la modulation respiratoire.

En somme une vasodilatation périphérique importante retentit directement sur la circulation oculaire et l'enregistrement rhéographique. Ro traduit pour ainsi dire le volume vasculaire de l'oeil et ses variations. L'amplitude du rhéogramme semble également liée au calibre vasculaire, mais l'interprétation exacte du phénomène prête encore à discussion :

Il semble qu'en pleine vasodilatation la pulsation artérielle des veines est maxima. Dès que la vasoconstriction réapparaît, la modulation artérielle diminue, Ro remonte rapidement alors même que la pression artérielle systolo-diastolique ne bouge pas.

Des substances parasympathicomimétiques telles que l'Acécholine ont été étudiées. Les mêmes effets ont pu être reproduits.

= *Les effets de la Procaïne* =

On peut rapprocher de ces effets le rôle de la Procaïne. Nous présentons sur la Figure N° 26 un enregistrement correspondant à l'injection intraveineuse d'un centimètre cube de Procaïne à 1 %.

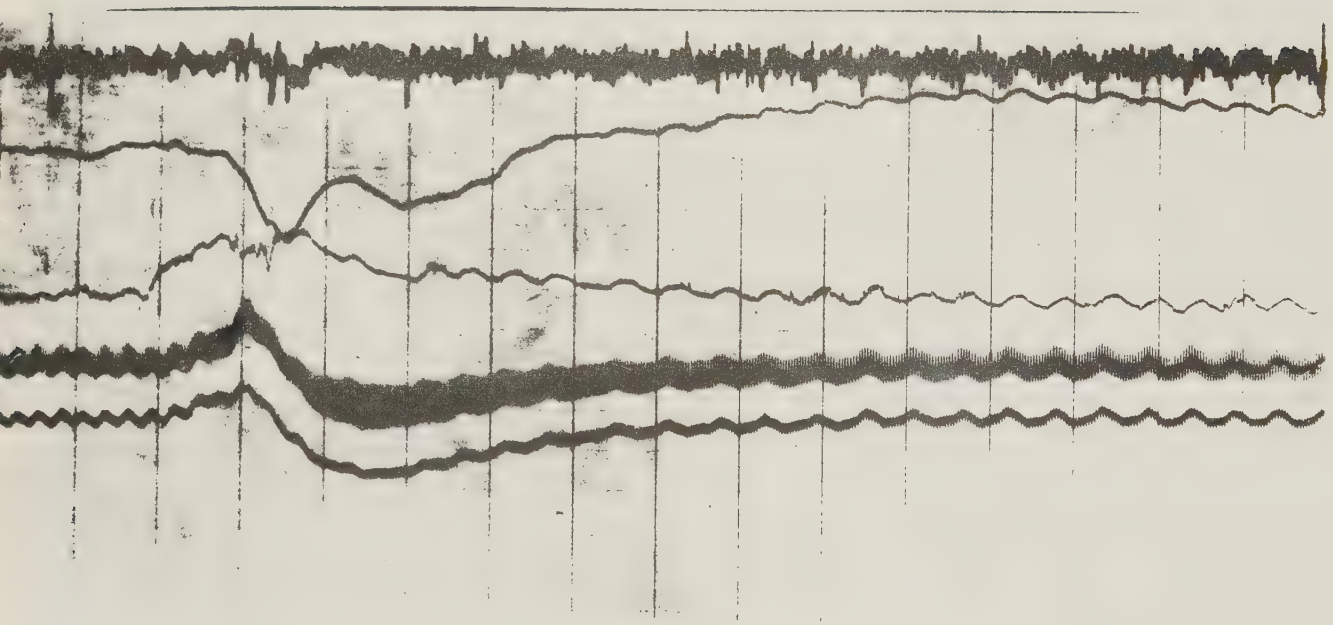


fig. 27

EFFETS DE L'INJECTION DU NESDONAL.

On observe une chute nette de la pression artérielle, une augmentation de la pression veineuse. Une variation de la résistance de base Ro dans le sens d'une diminution.

Sur les tracés pris avant l'injection, pendant les effets du produit, et cinq minutes après, on remarque là encore la part plus importante que prend la modulation artérielle en phase de vasodilatation Tracé III B.

• En somme :

- La vasodilatation produit une baisse de la résistance Ro.
- L'augmentation de la différentielle une augmentation de l'amplitude du tracé rhéographique.

Il ressort de l'étude des vasodilatateurs que l'augmentation du volume vasculaire, créé par dilatation, entraîne une diminution de la résistance Ro.

En ce qui concerne l'augmentation de l'amplitude du rhéogramme souvent notée, elle reflète l'augmentation de la pulsation artérielle dont l'effet est maximum en phase de vasodilatation. Le signal est mieux perçu il est plus pur car la vasodilatation diminue le filtrage.

= *Les effets du Nesdonal* =

On peut enfin étudier dans ce chapitre pharmacodynamique les effets du Nesdonal.

Nous avons pu l'observer souvent en raison de notre protocole d'anesthésie et des nécessités expérimentales.

Rappelons qu'il est utilisé en injection intra-veineuse de 1/4 à 1/2 cc. d'une solution à 5 cg par centimètre cube.

Les effets physiologiques sont constants et quasi immédiats :

- Après une très brève augmentation Figure N° 27, la pression artérielle chute.
- La pression intra-oculaire suit étroitement la pression artérielle et s'abaisse dans les mêmes proportions.
- La pression veineuse s'élève.

Il faut remarquer en particulier sur le Tracé I en légère précession du phénomène veineux sur le phénomène artériel.

- L'aspect du tracé rhéographique Rh est particulièrement net sur l'enregistrement II : l'amplitude de la variation artérielle est pratiquement inchangée, la modulation respiratoire disparait.

- La résistance de base Ro s'élève et ensuite d'abaisse.

Pour comprendre ces effets il faut envisager :

a) * L'effet du Nesdonal sur les centres respiratoires :

Par l'apnée qu'il provoque, il entraîne dans un premier temps une élévation artérielle, une hyperpression veineuse et une disparition de la modulation respiratoire du tracé rhéographique.

b) * Puis l'effet dépresseur du produit intervient et l'on assiste à une hypotension avec bradycardie.

Avec la reprise de la respiration s'amorce la reprise des paramètres circulatoires :
en particulier : chute de la pression veineuse.

En somme les effets obtenus sont essentiellement la conséquence de l'effet dépresseur central et myocardique du Nesdonal.

Il aurait été intéressant pour compléter cette étude de modifier artificiellement le lit veineux global soit dans le sens d'une augmentation par transfusion de sang, soit dans le sens d'une diminution par hémorragie veineuse. Cela n'a pu être réalisé au cours de ce travail. Mais nous nous proposons ultérieurement d'utiliser ces procédés pour étudier de façon plus pure les effets de la volémie sur les tracés rhéographiques de l'oeil.

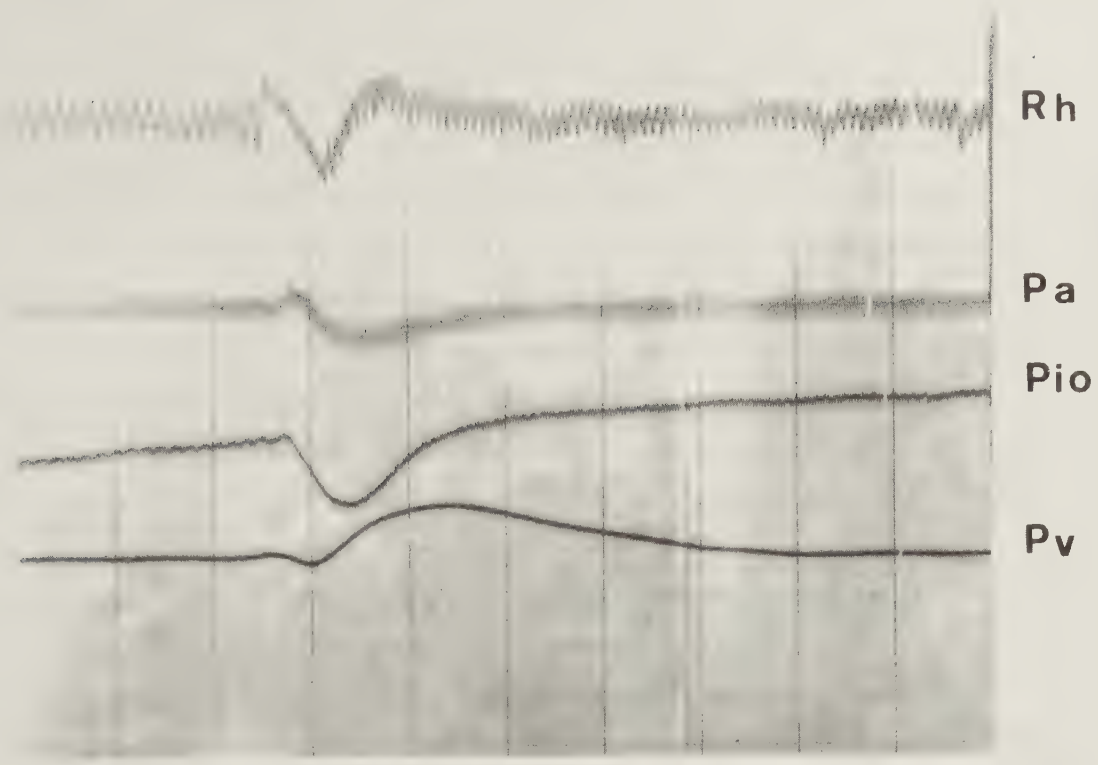


fig. 27 II

EFFETS DE L'INJECTION DE NESDONAL

Car comme nous l'avons déjà dit les substances pharmacodynamiques agissent en même temps sur de nombreux récepteurs différents, leurs effets parfois même s'opposent selon le territoire considéré. Il est de ce fait difficile d'affirmer que telle modification rhéographique est due à tel phénomène hémodynamique et à lui seul.

➧ En Conclusion =

Il nous semble cependant possible de souligner la concordance entre les phénomènes circulatoires de l'organisme et les modifications de la résistance de base Ro mesurée au niveau de l'oeil.

Une vasodilatation entraîne une augmentation du calibre artériel et artériolaire, la conséquence est une diminution de la résistance.

Une vasoconstriction entraîne inversement une diminution du calibre et une augmentation de la résistance.

A cela viennent se superposer des phénomènes de pression artérielle ou veineuse qui agissent également soit sur le calibre des artères ou artérioles, soit sur le calibre des veinules ou veines.
Une augmentation de pression moyenne artérielle aura tendance à dilater le lit artériel et inversement.
De même une augmentation de pression veineuse aura tendance à dilater le territoire veineux et inversement.

L'amplitude du tracé rhéographique dépend également du niveau de pression moyenne agissant sur les caractéristiques élastiques, de la valeur de la pression artérielle différentielle génératrice du signal rhéographique, de l'état de vasomotricité agissant par filtrage sur l'amplitude du signal générateur.

En définitive, l'oeil n'est pas isolé, exclu, ni protégé, vis-à-vis de la circulation périphérique puisque toute modification de celle-ci a un retentissement sur la circulation locale.

L'étude du tracé rhéographique qui reproduit fidèlement les accidents artériels ou veineux nous apparaît donc d'autant plus intéressante. C'est pourquoi nous allons maintenant envisager : les modifications du tracé rhéographique en fonction des caractères franchement pathologiques.

II. - LES MODIFICATIONS DU TRACE RHEOGRAPHIQUE EN FONCTION DES CARACTERES FRANCHEMENT PATHOLOGIQUES.

1°) --- LES MODIFICATIONS DE LA PRESSION ARTERIELLE ---

L'obstruction artérielle.

Sur l'enregistrement de la Figure N° 28 I on observe lors du clampage complet de la carotide commune :

- Une chute brutale de la pression intra-oculaire.
- Une augmentation progressive de la pression artérielle.
- Une diminution de la pression veineuse.
- Une augmentation de la résistance de base Ro (cf. TRACE III).
- Une diminution de l'amplitude du signal rhéographique. L'enregistrement de ce signal tel qu'il est présenté sur la Figure N° 28 II, nous montre que dans les conditions basales, le tracé rhéographique présente bien les deux modulations que nous avons décrites : artérielle et veineuse (A) que pendant la durée de l'obstruction carotidienne l'image artérielle disparaît, ne persistent que les modulations respiratoires amples et facilement reconnaissables (B). Après déclampage enfin le tracé reprend un aspect normal (C).

La compression de la carotide éteint la composante artérielle du signal rhéographique, ou le plus souvent entraîne une simple diminution de son amplitude (en raison des suppléances vasculaires qui sont certainement très vite mises en jeu).

Le déclampage restituant à l'oeil sa vascularisation, nous voyons réapparaître le signal artériel, ou son amplitude reprendre la valeur initiale.

Les autres paramètres retrouvent dès le déclampage leur valeur initiale. La pression intra-oculaire qui avait d'ailleurs tendance à se restaurer spontanément (pendant toute la durée de l'obstruction) remonte brutalement et retrouve sa modulation artérielle et respiratoire.

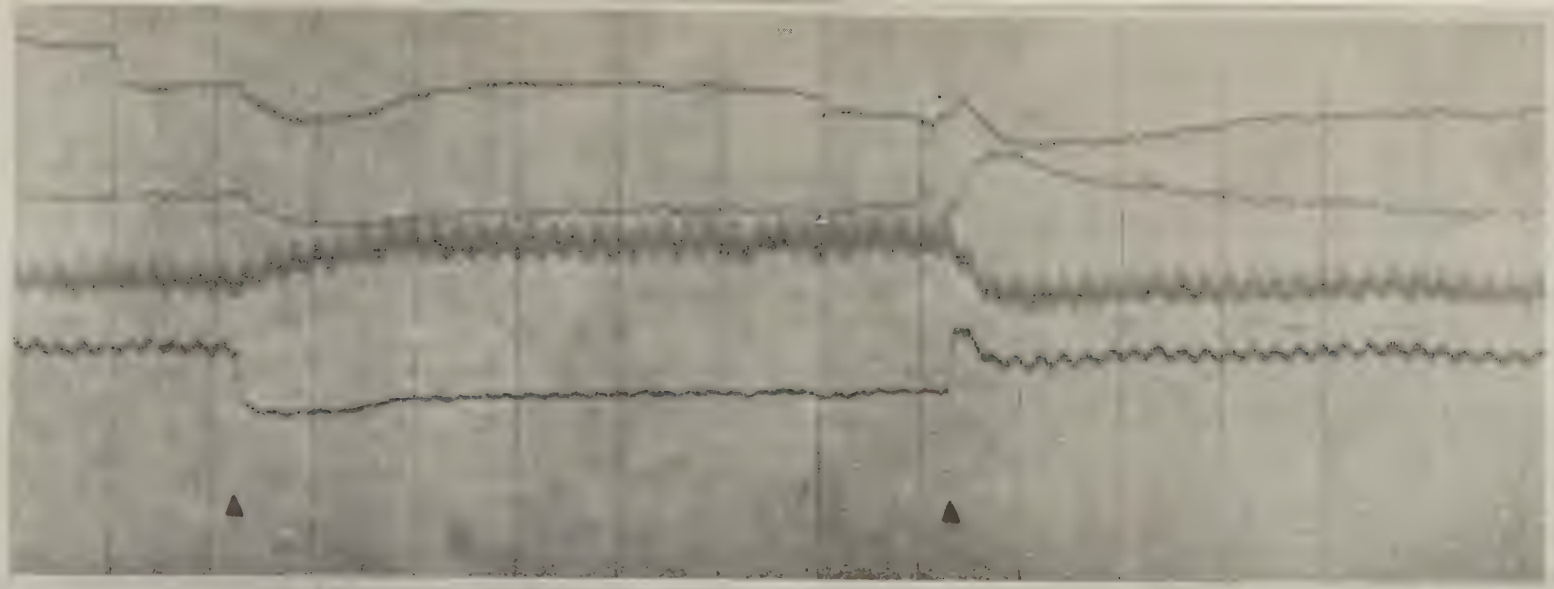
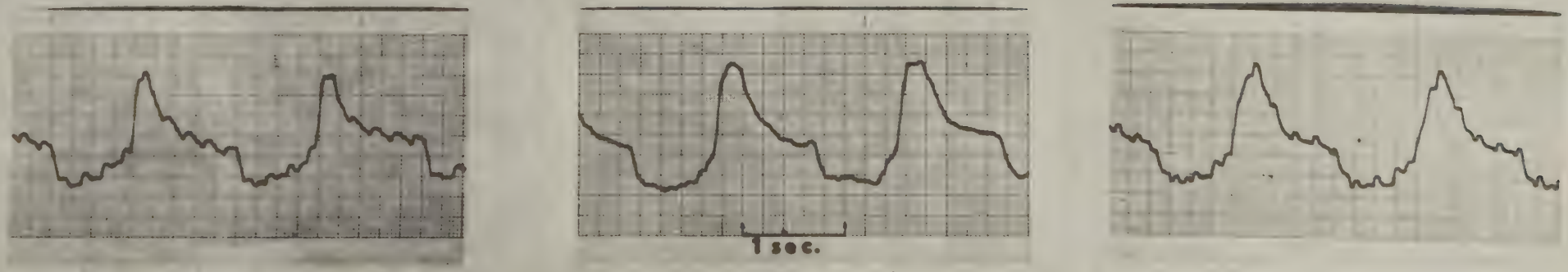


fig. 28 I.



A : avant

B : pendant

C : apres

fig 28 II.

LES EFFETS DU CLAMPAGE DE LA CAROTIDE COMMUNE

fig. 28 III.

LES EFFETS DU CLAMPAGE DE LA CAROTIDE COMMUNE.

La pression veineuse revient lentement à la normale de même que la résistance de base. A noter que cette dernière (III) dépasse même sa valeur d'origine puis se rétablit ensuite.
Ceci correspond probablement à l'à-coup sanguin brutal lors du déclampage : le calibre des vaisseaux doit augmenter brutalement jouant ainsi un rôle "*d'amortisseur*" ce qui se traduit par cette chute presque exagérée de Ro. Le vrai retour à la valeur initiale se faisant lorsque le tonus vasomoteur joue à nouveau son rôle.

Il faut remarquer que le même phénomène se produit sur la courbe de pression intra-oculaire : il se produit comme un rebond.

* En conclusion :

Il résulte de ces expériences que l'amplitude des variations artérielles du tracé rhéographique, est fonction de la circulation artérielle dans le territoire étudié par la rhéographie.

De ce fait la diminution de l'irrigation locale diminuera ou éteindra la partie artérielle du signal, ne laissant persister que la modulation respiratoire. De même la valeur de la résistance Ro sera modifiée.

L'intérêt de cette étude réside dans la possibilité d'exploration des troubles de l'apport sanguin à l'oeil et plus particulièrement les thromboses des gros troncs artériels. L'analyse du signal, son aspect, son amplitude, les variations de Ro devraient pouvoir servir à apprécier la valeur de l'apport sanguin artériel qui conditionne en partie la vie de l'oeil.

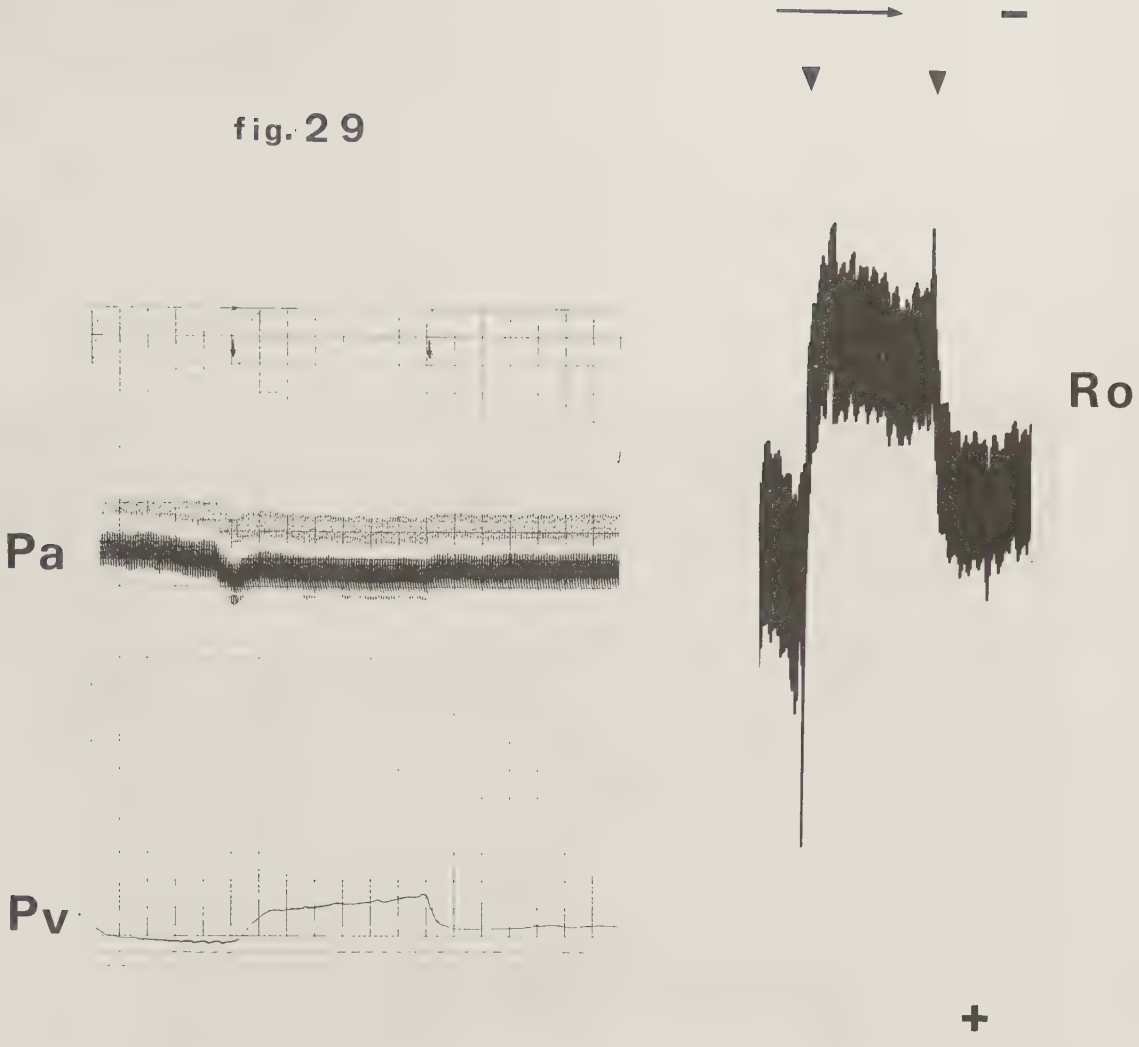
Mais le phénomène artériel n'est pas seul en cause et tout aussi intéressant et important nous semble l'étude des phénomènes veineux.

2°) --- LES MODIFICATIONS DE LA PRESSION VEINEUSE ---

Nous avons déjà suggéré l'existence de relations entre phénomène veineux et tracé.
Pour les étudier plusieurs expérimentations ont été réalisées.

= *Le clampage isolé de la veine jugulaire externe* =

fig. 29



EFFETS DU CLAMPAGE DE LA VEINE JUGULAIRE.

Sur les tracés de la Figure N° 29 on peut remarquer :
- une petite chute de la pression artérielle.
- une augmentation progressive de la pression veineuse dans le territoire céphalique comme on pouvait s'y attendre.
- une diminution nette et assez brutale de Ro due au remplissage plus important du lit vasculaire.

Lors du déclampage Ro, Pv et Pa, reviennent brutalement à leur valeur initiale.

Ces effets, bien que très nets, ne sont pas quantitativement très importants, on ne remarque pas, par ailleurs, de diminution de l'amplitude respiratoire.

Là encore on peut penser qu'il existe de nombreuses voies de suppléance.

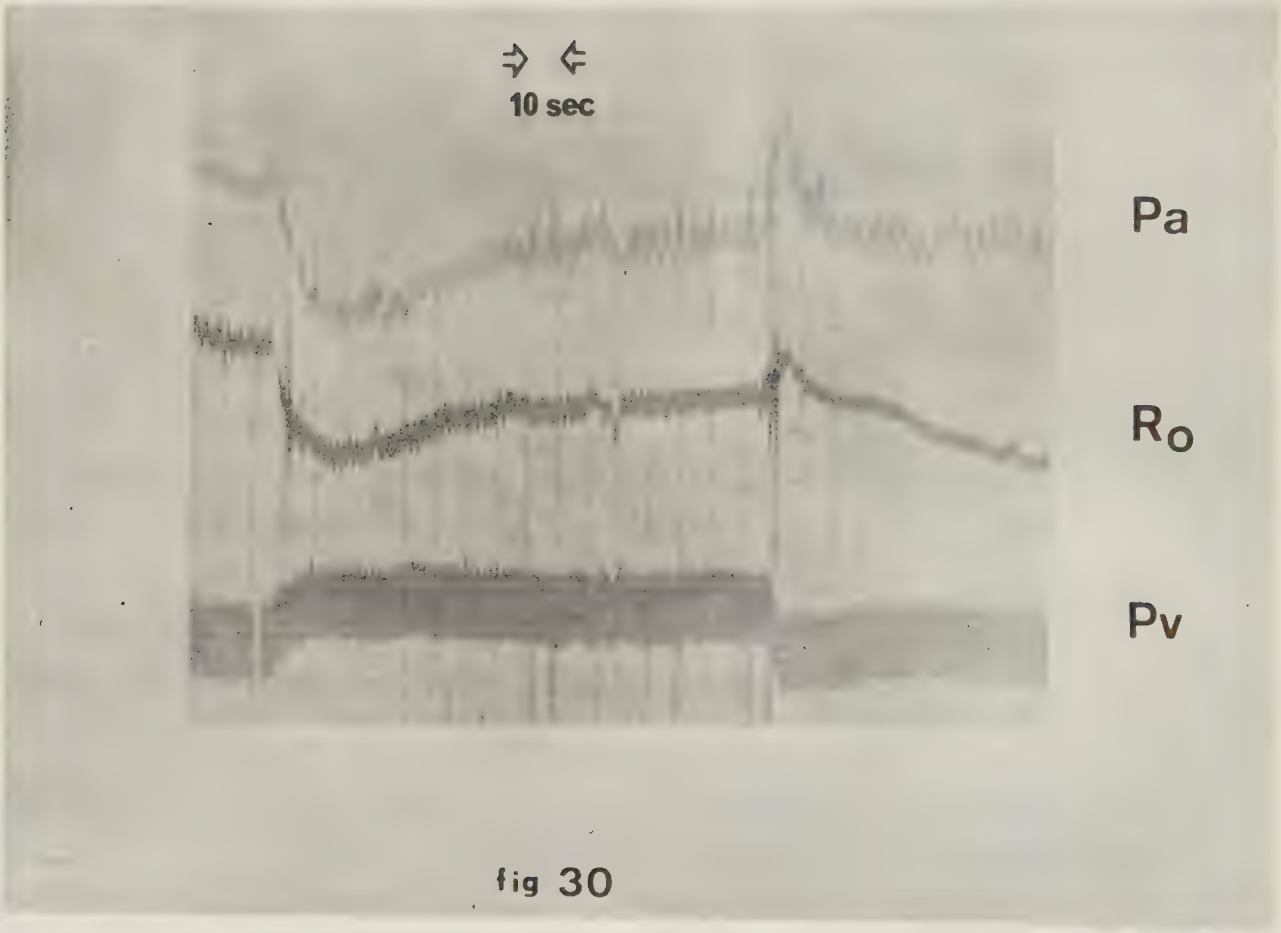


fig 30

EFFETS DU CLAMPAGE DE LA CAROTIDE COMMUNE ET DE LA JUGULAIRE.

Enfin si l'on pratique l'obstruction complète de la *carotide commune et de la jugulaire* du côté rhéographié on constate que le tracé diffère relativement peu du tracé de clampage artériel seul.

On note sur la Figure N° 30 :

- une augmentation de la pression artérielle en amont de l'obstruction.
- une diminution de la pression veineuse puis une augmentation lente sans doute due à la mise en jeu des voies de suppléance.
- une augmentation de la résistance Ro qui suit les mêmes variations que la pression veineuse.

= *Obstruction trachéale* =

L'obstruction complète de la canule de trachéotomie réalise une asphyxie dont l'étude est possible sur le tracé de la Figure N° 31 I

On assiste à l'installation progressive :
- d'une hypertension artérielle.
- la pression intra-oculaire suit très exactement l'élévation de la pression artérielle et ses variations.
- la pression veineuse augmente considérablement et ses modulations respiratoires sont de plus en plus amples.
- Le rhéogramme est augmenté d'amplitude essentiellement dans sa modulation respiratoire.
- La résistance de base Ro augmente progressivement, ce phénomène est particulièrement net sur le tracé II de la Figure N° 31
Il traduit la vasoconstriction due au CO^2 (action centrale).

Au fur et à mesure que se développe l'asphyxie, le retentissement sur le rhéogramme des accidents respiratoires est de plus en plus important.

La restitution de la liberté des voies aériennes se traduit par une polypnée tandis que la pression veineuse redevient normale et que le rhéogramme retrouve son aspect initial.
La baisse de Ro traduit le retour à la normale du calibre des vaisseaux.

fig.31

EFFETS DE L'OBSTRUCTION TRACHEALE

fig. 31 II

EFFETS DE L'OBSTRUCTION TRACHEALE

= *Enfin nous avons tenté la réalisation d'un glaucome expérimental* =

La technique utilisée a été la ligature des vortiqueuses à leur sortie du globe oculaire, du côté exploré par la rhéographie. Nous nous sommes heurté à des difficultés techniques et les tracés obtenus ne peuvent donner lieu à une interprétation valable.

Néanmoins nous livrerons quelques réflexions concernant cette expérimentation.

Plusieurs problèmes se posent lorsqu'il s'agit de réaliser un glaucome expérimental.

- La ligature des vortiqueuses dans la technique choisie, suppose un abord sanglant de l'oeil, comportant des désinsertions musculaires, modifiant de ce fait même la vascularisation de l'oeil et introduisant une cause d'erreur.

- L'abord des veines nous oblige à ôter temporairement les électrodes rhéographiques exploratrices.
Le fait de les replacer après réalisation du glaucome peut entraîner des modifications, de position donc des mesures qui seront difficilement comparables.

- Deux phénomènes sont mal connus et méritent à notre avis une étude approfondie :

  • Le temps d'apparition de l'hypertension oculaire après création du glaucome.

  • Les délais de retentissement pariétal, si l'on peut dire, de l'hypertension : l'augmentation de volume de l'oeil.

- Enfin, rappelons, le problème de la permanence du glaucome après sa création de nombreux auteurs s'accordant à dire qu'un glaucome expérimental ne dure que 24 à 36 heures.

Nous ne ferons que citer les "*petits problèmes*" techniques ou anatomiques : la sclérotique de lapin est mince, la ligature est difficile et les points de ligature sont vite perforants. La diathermocoagulation risque d'être dangereuse. Enfin le lapin ne dispose pas de canal de Schlemm et l'évacuation de l'humeur est diffuse.

Là encore de nombreuses voies de suppléances doivent se mettre probablement très vite en action lors de l'obstruction de la voie de retour habituelle.

3°) --- ETUDE DES PARAMETRES AU COURS DE LA MORT ---

Sur l'enregistrement rhéographique pratiqué au cours de la mort de l'animal sacrifié par une dose massive de Nesdonal, Figure N° 32.

• On remarque :

- Une chute rapide et brutale de la pression artérielle qui s'accompagne d'une extinction du signal rhéographique.

- La pression veineuse chute brutalement, passe ensuite par un plateau et puis dérive lentement.

- La pression intra-oculaire chute très progressivement.

- La résistance statique Ro s'augmente progressivement et lentement. La dérive dure une vingtaine de minutes.

Le territoire veineux se vide progressivement. Du fait de l'élasticité des parois, le calibre diminue très lentement expliquant la dérive très lente de Ro.

--- CONCLUSIONS ---

Au terme de cette étude, il est possible de souligner les rapports entre l'état vasculaire de l'oeil et les tracés rhéographiques et déjà d'envisager l'intérêt diagnostic de la méthode :

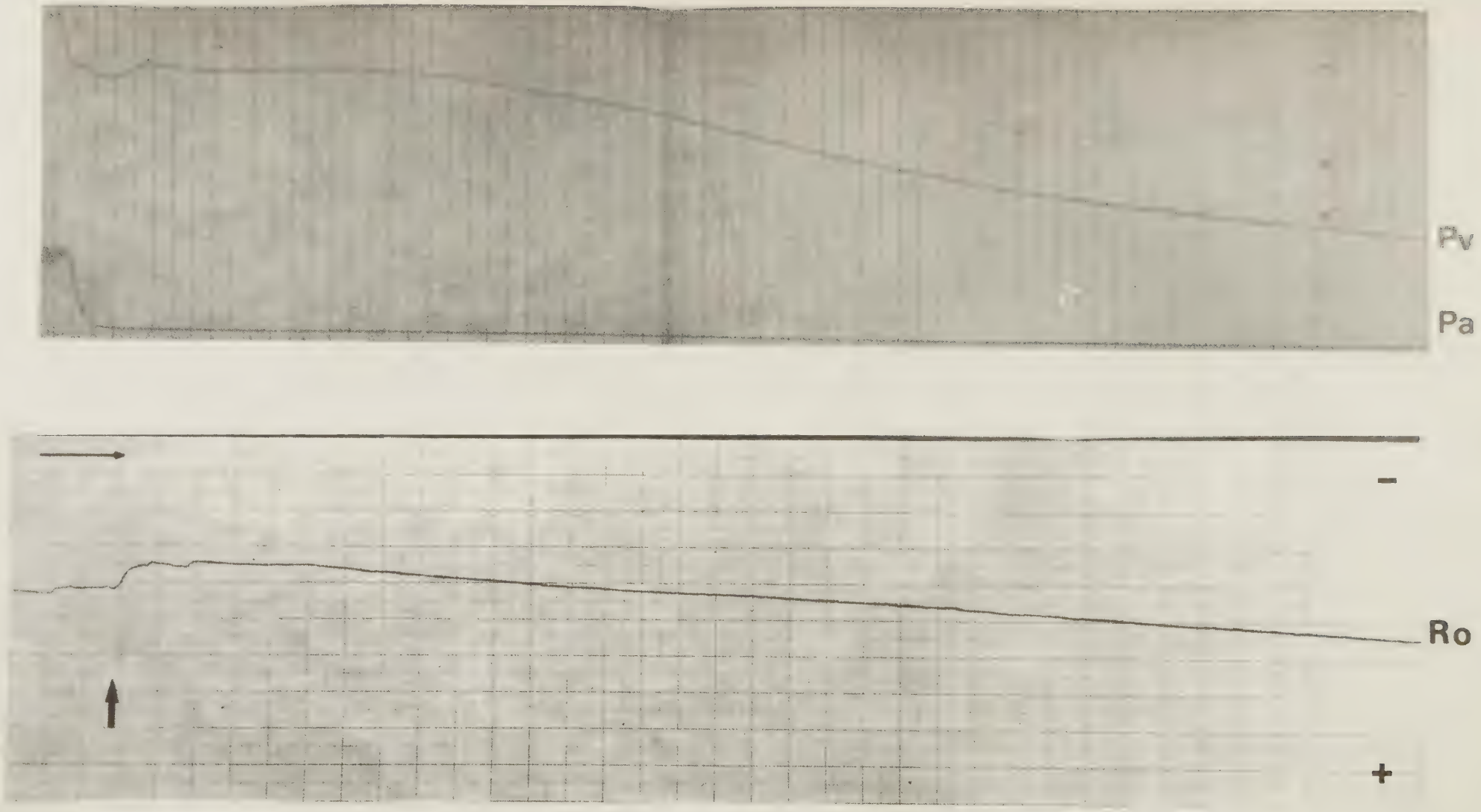


fig 32

De l'étude de la modulation artérielle on peut affirmer que son amplitude traduit bien un état de vascularisation locale, "d'irrigation" de l'écorce de l'oeil, puisque l'obstruction franche d'une artère modifie ce signal ou l'éteint.

Rapportée à un étalonnage préalable des variations de résistance, associée à une normalisation des conditions de mesure, (position et distance entre les électrodes), complétée par une étude statistique effectuée sur une population suivie, cette caractéristique de l'enregistrement peut servir à l'appréciation quantitative de l'irrigation artérielle de l'oeil.

Mais il faut souligner la difficulté d'extraire un "beau signal" artériel oculaire du fait de la modulation respiratoire et des très faibles variations (inférieures à 10^{-2} Ω). On peut cependant essayer d'atténuer par filtrage électronique l'importance de cette modulation.

On peut également espérer chez l'individu conscient une phase brève d'apnée suffisante à l'obtention d'une séquence d'enregistrement interprétable.

L'enregistrement de la dérivée du signal rhéographique permet une meilleure analyse de celui-ci Figure N°33.

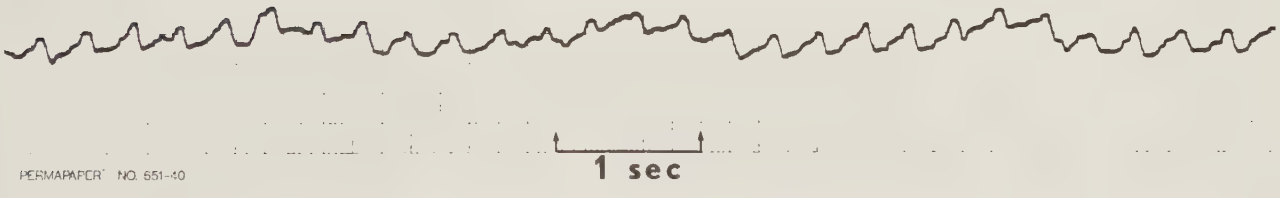


fig.33

Nous verrons comment chez l'homme l'existence d'un "très beau" signal artériel peut avoir une signification pathologique.

L'obstruction partielle des vaisseaux, notamment artériels, entraîne une baisse de l'amplitude du rhéogramme, de même les obstructions veineuses entraînent des modifications sur les résistances Ro plus que sur le tracé rhéographique habituel.

C'est dire l'intérêt de l'exploration par cette méthode des thromboses vasculaires, du glaucome, en un mot de toute la pathologie vasculaire de l'oeil.

Il est permis d'envisager l'établissement d'un test d'obstruction artérielle momentanée (compression carotidienne unilatérale).

III. - RECHERCHE D'UNE METHODE QUANTITATIVE.

La relation entre phénomène vasculaire et tracé rhéographique étant établie ; il convient maintenant d'approcher le phénomène non plus seulement de façon qualitative mais quantitative.

C'est pourquoi :

Nous avons recherché une méthode pouvant servir à l'appréciation quantitative de l'état du réseau sanguin oculaire.

1°) --- L'ETUDE DES TRACES RHEOGRAPHIQUES NORMAUX ---

Comme nous l'avons vu l'amplitude des modulations respiratoires donne une idée de l'influence de la pression veineuse ; nous avons envisagé l'intérêt que représente cet aspect du tracé rhéographique.

Cependant, cet effet étant dû principalement à l'action du système respiratoire, l'amplitude de la modulation dépendra de celle de la respiration. Cette méthode ne peut représenter qu'un aspect comparatif entre les deux yeux ou dans un cas franchement pathologique (extinction très importante d'amplitude de cette modulation)

2°) --- LES MODIFICATIONS DE PRESSION VEINEUSE DANS LES CONDITIONS PHYSIOLOGIQUES.

Celles-ci ont été réalisées par des modifications posturales. Nous avons étudié les effets de lever lent ou rapide des pattes et du train arrière de l'animal endormi.

La Figure N° 34 nous montre un tracé réalisé dans ces conditions d'expérimentation.

L'élévation du train arrière de l'animal provoque une légère élévation de la Pa et sur le tracé de la résistance de base une diminution de valeur de celle-ci.

La pression intra-oculaire s'élève beaucoup plus d'ailleurs que ne s'élève la pression artérielle. (A)

Il faut noter une différence entre le lever lent des pattes ou du train arrière et les variations posturales brutales Figure N° 34 B-C : La pression artérielle est peu modifiée dans l'élévation lente alors que les modifications de Ro sont nettes. On assiste à un véritable remplissage du lit vasculaire veineux de l'oeil, ce qui entraîne une diminution de la résistance électrique.

• INTERET DE CETTE ETUDE.

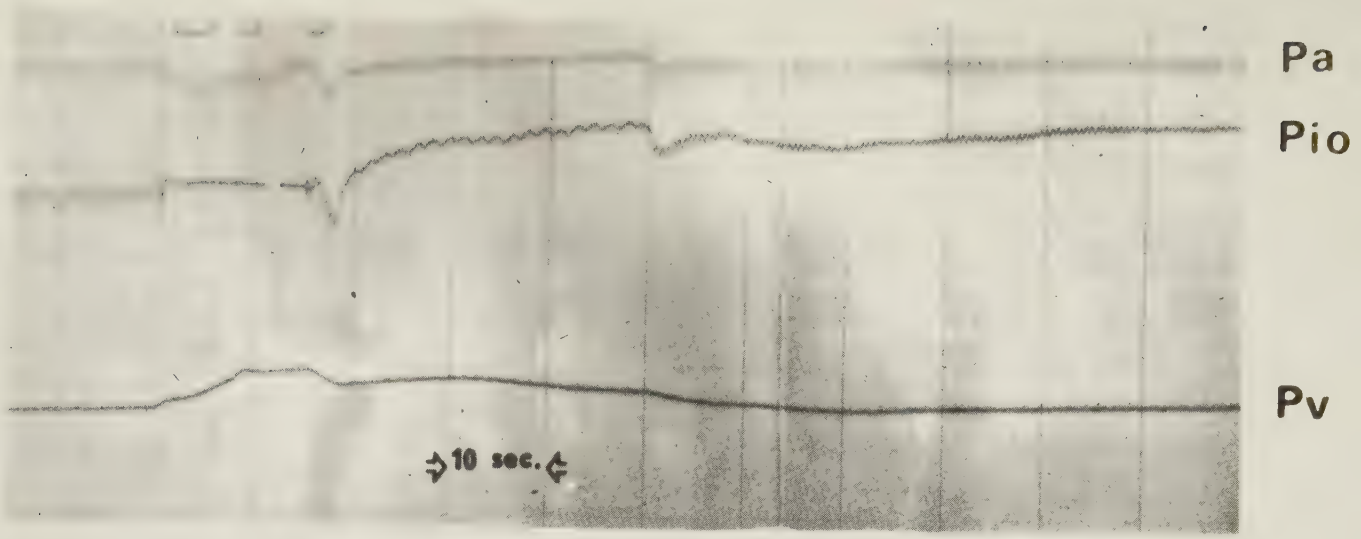
Il semble possible d'apprécier par ce moyen la capacité vasculaire de l'oeil, l'état de remplissage antérieur des vaisseaux. Les temps de montée ou de descente en réponse à des variations posturales rapides peuvent apporter des informations sur les caractéristiques hydrauliques des vaisseaux.

3°) --- ETUDE DES MARQUEURS RESISTANTS ---

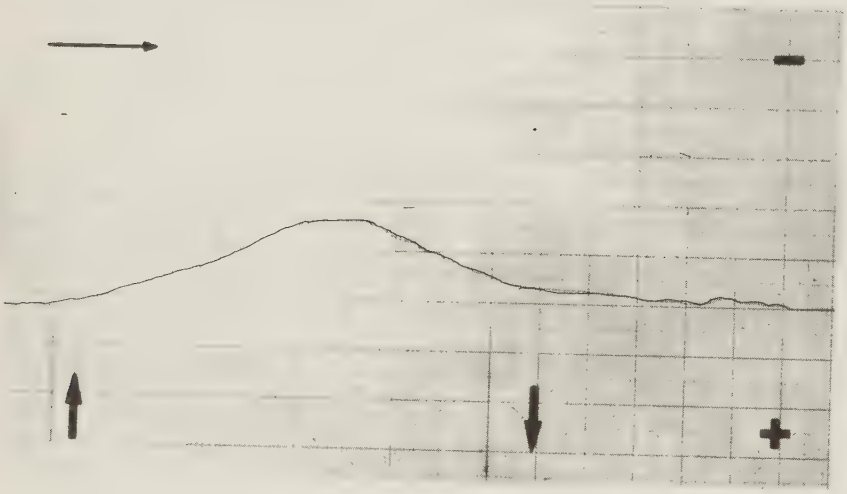
L'utilisation des marqueurs résistants repose sur :

= Le principe suivant =

L'injection d'une quantité donnée d'un liquide de résistance différente de celle du sang entraîne une variation de Ro uniquement par modification de la résistivité globale du milieu.



A



B lent

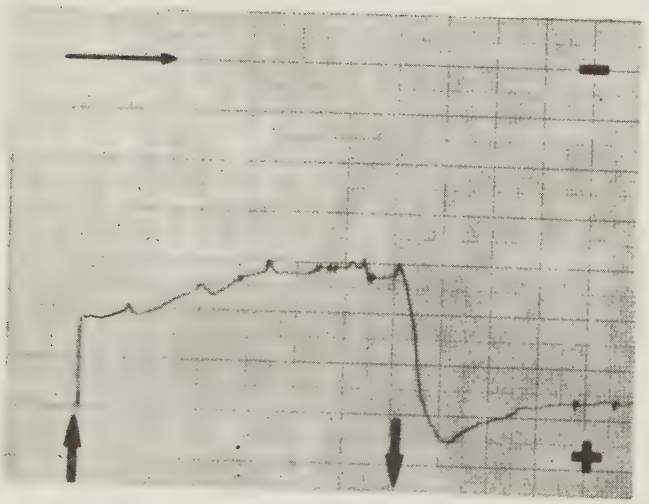


fig.34

C rapide

ETUDE DES VARIATIONS POSTURALES.

Cette variation passe par un maximum lorsque le produit est entièrement réparti dans l'organisme, puis la ligne de base rejoint sa valeur initiale au fur et à mesure de l'élimination du produit.

= Technique de l'expérimentation =

Les injections sont faites assez rapidement soit par perfusion accélérée, soit à la seringue.

- le volume injecté est de 10 cc.

Les substances utilisées.

Nous nous sommes limités au cours de l'expérimentation à l'étude des substances d'usage courant telles que :

- le sérum glucosé isotonique 5 %
- le sérum salé isotonique 9 ‰
- le Mannitol à 10 % d'usage fréquent en ophtalmologie.

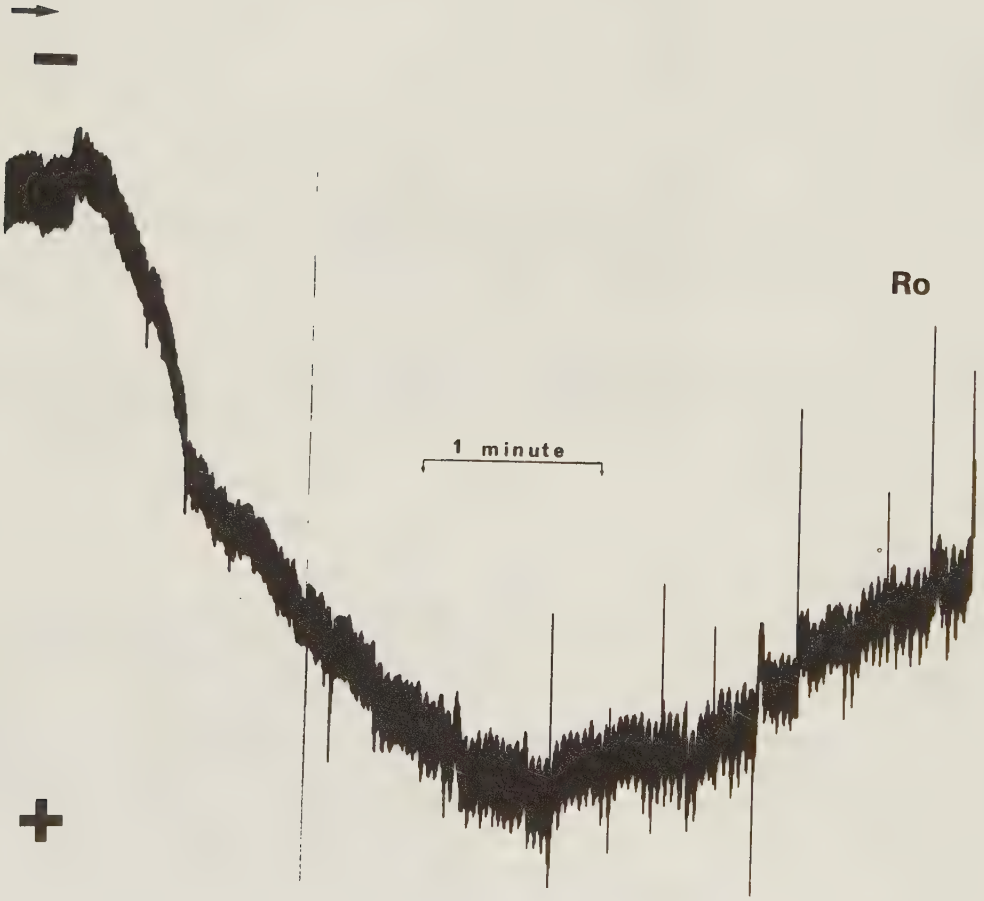
Nous avons donc mesuré la résistivité de ces solutions. Les valeurs obtenues figurent sur le Tableau N° IV.

MARQUEURS RESISTANTS	RESISTIVITE en Ω cm/cm^2	FREQUENCE DU COURANT INJECTE
Glucosé isotonique à 5 %	8.150 Ω cm/cm^2	4,5 KHZ
Mannitol à 10 %	22.200 Ω cm/cm^2	
Sérum salé isotonique 9 ‰	69 Ω cm/cm^2	
Sang humain hépariné	195 Ω cm/cm^2	

TABLEAU IV

VALEUR DE LA RESISTIVITE DES SOLUTIONS INJECTEES.

fig. 35 I



EFFETS DE LA PERFUSION DE SERUM GLUCOSE A 5 %.

- Pas de variation de la pression artérielle (Pa).
- Augmentation passagère de la pression veineuse responsable de l'"effet volume".

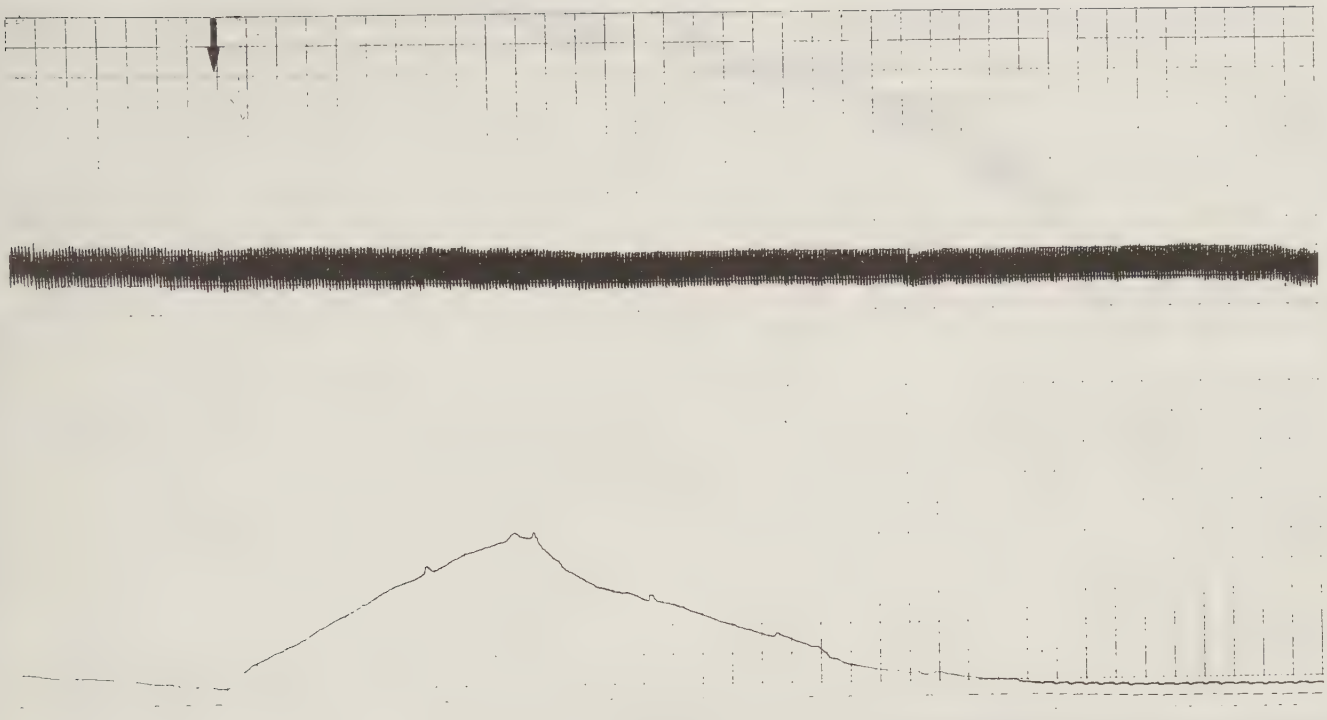


fig.35 I.

EFFETS DE PERFUSION DE SERUM GLUCOSE A 5 %.

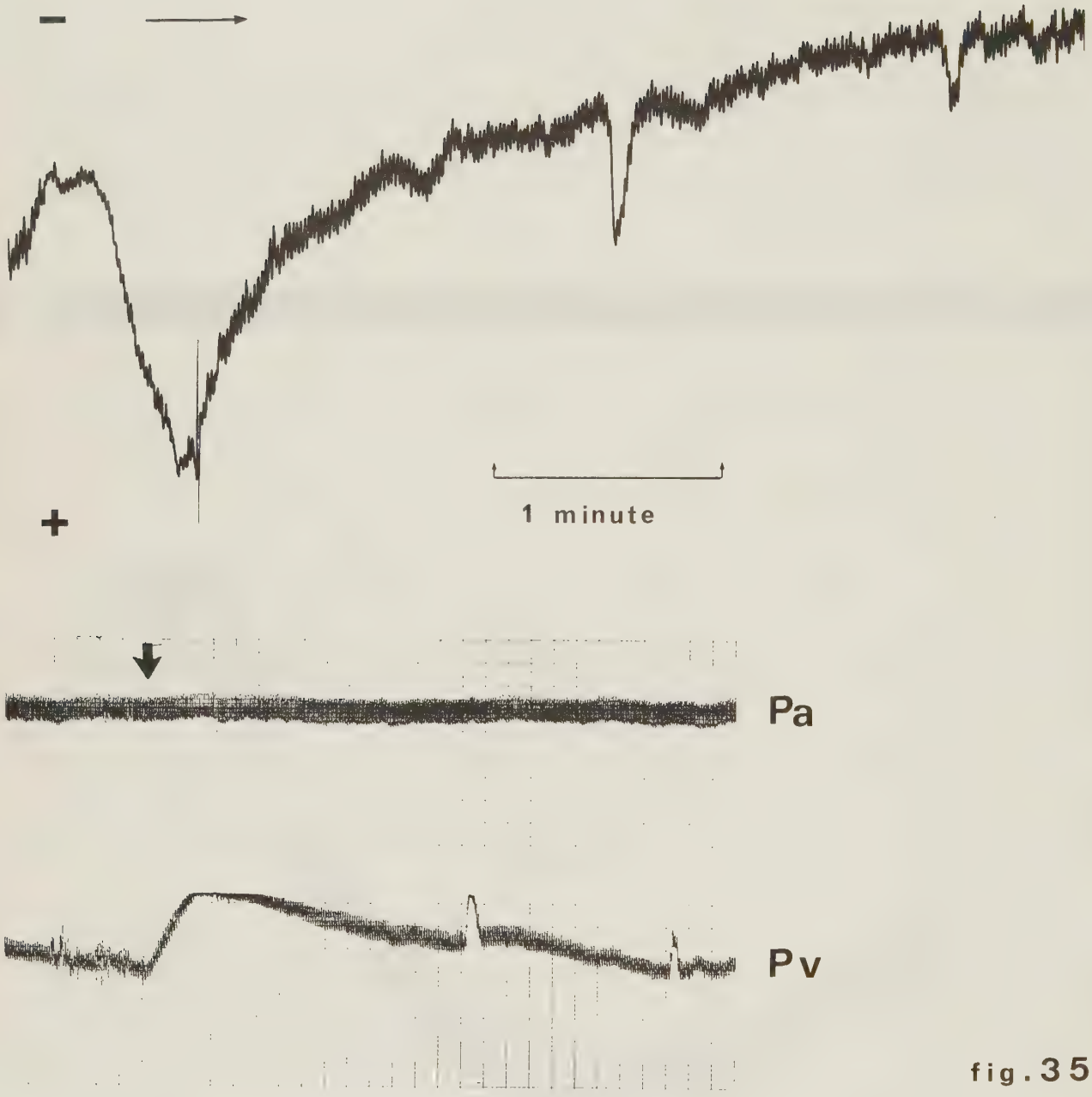


fig.35 II.

EFFETS DE L'INJECTION DU MANNITOL A 10 %.

Les mesures ont été faites avec l'appareil décrit au chapitre 2 représenté sur la Figure N° 8.
Les mesures ont été effectuées à la température constante de 25°.
La fréquence du courant injecté est de 4,5 KHZ c'est-à-dire la fréquence habituelle d'utilisation. Nous avons rappelé sur le tableau, la valeur de la résistivité du sang humain hépariné comme élément de comparaison. L'injection d'un "*Marqueur Résistant*" produit donc dans l'organisme une modification de la ligne de Résistance Ro.

- Tout d'abord dans le sens d'une diminution du fait même de l'apport au lit veineux d'une quantité donnée de liquide : C'est ce que nous appelerons "*l'effet volume*".

Ceci rejoint le phénomène postural de "*remplissage veineux*".

- Mais très rapidement nous assistons à une variation de Ro qui peut se faire soit dans le sens :

* d'une augmentation s'il s'agit d'un marqueur deux fois plus résistant que le sang, c'est le cas :
  - du sérum glucosé 5 % Figure N° 35 I.
  - du Mannitol 10 % Figure N° 35 II.
* d'une diminution c'est-à-dire dans le même sens que "l'effet volume" s'il s'agit d'un marqueur moins résistant que le sang tel :
  - le sérum salé. Figure N° 36

Il faut noter que le retour à la valeur initiale de Ro ne suit pas dans ce cas la pression veineuse,qu'elle revient plus rapidement aux chiffres antérieurs. Il faut attendre que le produit soit éliminé pour que la résistivité du milieu intérieur se retrouve dans les conditions basales.

* INTERET DU MARQUAGE.

Contrairement aux méthodes classiques de marquage, l'injection ne pouvant être faite dans une artère afférente à l'organe étudié : l'oeil, elle sera obligatoirement faite à distance. C'est donc plutôt une idée du volume sanguin de l'oeil qu'elle nous permettra d'apprécier.

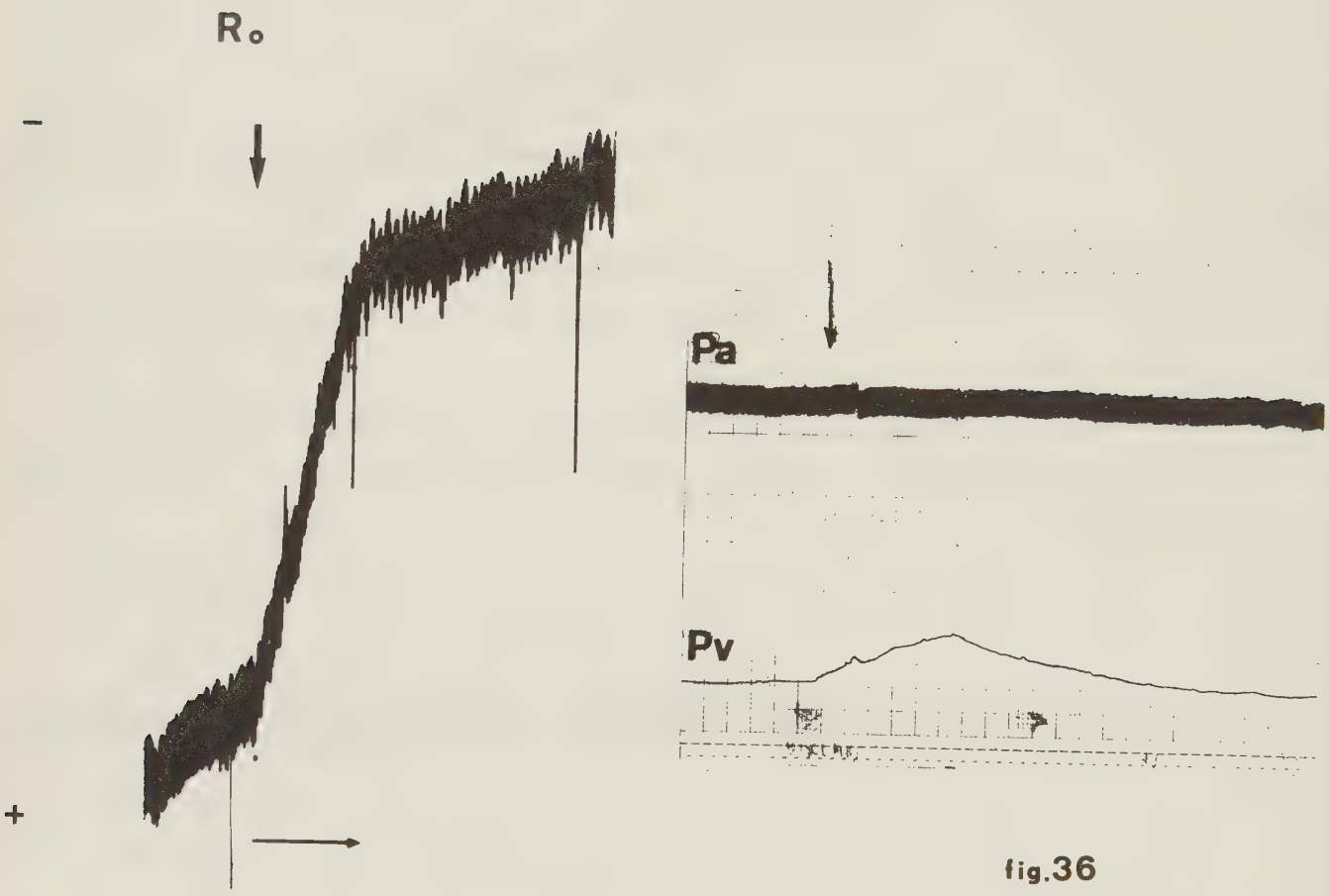


fig.36

EFFETS DE L'INJECTION DE CHLORURE DE SODIUM A 9 ‰.

Il manque à cette étude une mesure de la résistivité aux divers temps de répartition du "*Traceur*" ou plutôt du "*Marqueur*" dans l'organisme et surtout il faut envisager des marqueurs différents, restant plus longtemps dans l'organisme, non agressifs pour ce dernier et faciles à se procurer et à utiliser.

Les expérimentations méritent d'être reprises, multipliées, les marqueurs étudiés avec précision (caractéristiques électriques, comportement vis à vis de la barrière oculaire etc...).

Enfin, l'usage des marqueurs résistants peut ne pas se limiter à l'oeil, mais être étendu à n'importe quel autre organe de l'économie.

C'est encore un domaine qu'il conviendra d'approfondir et qui à lui seul nous paraît du plus grand intérêt.

RECHERCHE D'APPLICATIONS CLINIQUES

R E C H E R C H E D ' A P P L I C A T I O N S C L I N I Q U E S

I. - GENERALITES -

1°) --- SITUATION DES ELECTRODES D'INJECTION ---

2°) --- LES ELECTRODES DE MESURE ---

3°) --- LES CONDITIONS DE L'EXAMEN ---

4°) --- L'EXAMEN PROPREMENT DIT ---

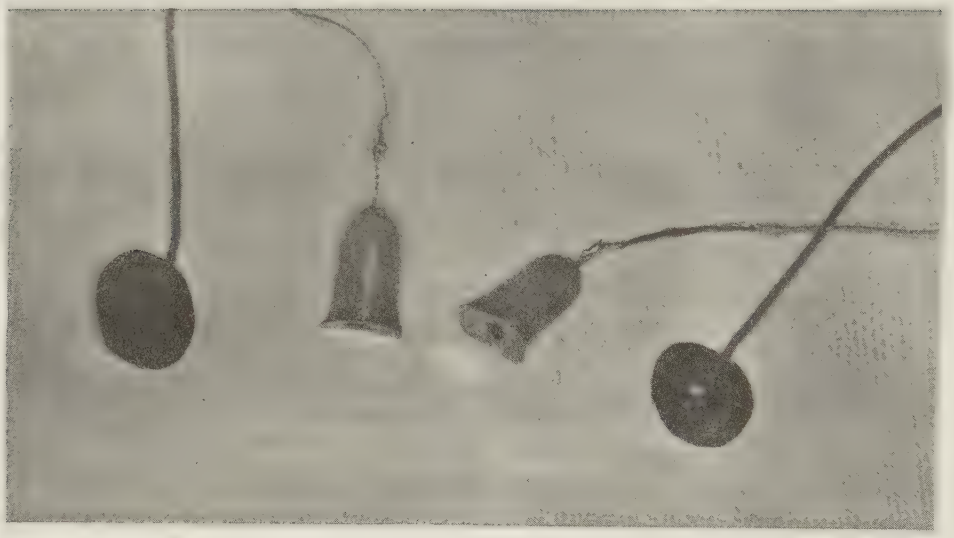
II. - LES OBSERVATIONS CLINIQUES -

1°) --- TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL NORMAL ---

2°) --- TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL ATTEINT D'UVEITE ---

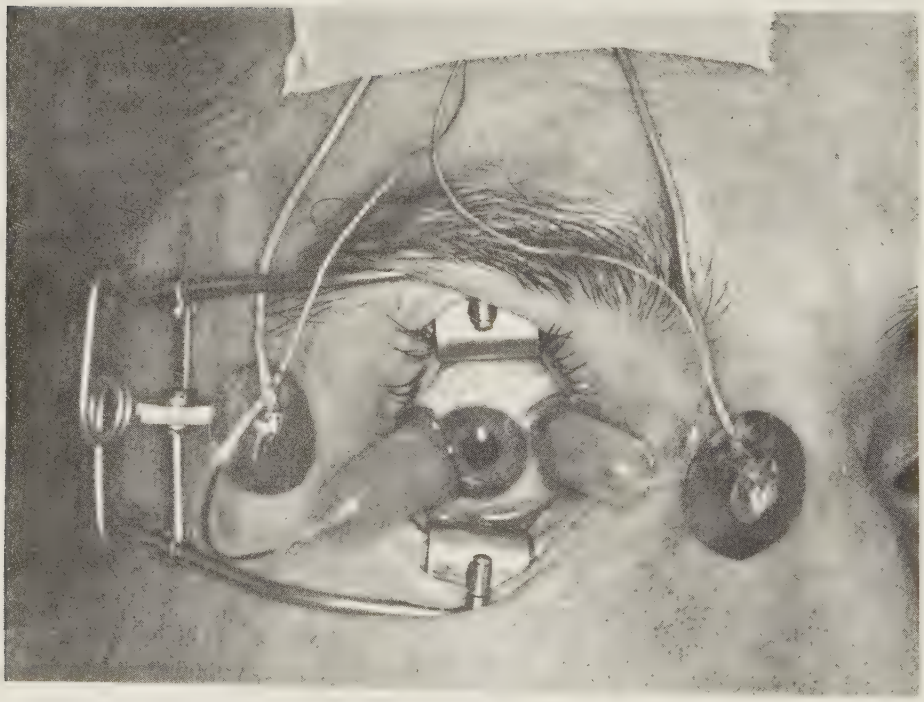
3°) --- TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL PRESENTANT UN SYNDROME D'EXOPHTALMOS PULSATILE ---

Remarques générales.



PHOTOGRAPHIE N° 6

LES ELECTRODES.



PHOTOGRAPHIE N° 7

ELECTRODES EN PLACE CHEZ L'HOMME.

I. - GENERALITES -

Pour réaliser chez l'homme la rhéographie de l'oeil à quatre électrodes il faut d'abord résoudre un certain nombre de problèmes techniques.

I°) --- SITUATION DES ELECTRODES D'INJECTION ---

Elles doivent être situées le plus près possible de l'oeil afin que le champ électrique concerne le plus possible l'organe en question.

Une coupe horizontale sur la Figure N°18 nous montre l'aspect du champ électrique autour de l'oeil.

Les électrodes sont fixées sur la peau après avoir été recouverte d'une pâte conductrice : une électrode est placée dans la région temporale très près de l'apophyse orbitaire externe, l'autre dans la région nasale : dans l'angle interne des paupières.

2°) --- LES ELECTRODES DE MESURE ---

Ce sont des électrodes ventouses décrites par ailleurs.
Elles sont légères, non blessantes pour les conjonctives : la surface métallique est bien lisse sans aspérité.
Elles adhèrent intimement au globe et tout frottement est ainsi évité.
Elles sont placées au limbe sur le méridien de 3 heures - 9 heures.
La légèreté du fil conducteur permet d'éviter les inconvénients d'un appareillage de support : les fils sont simplement fixés par un ruban adhésif sur le front.

La PHOTOGRAPHIE N° 6 nous montre les électrodes

La PHOTOGRAPHIE N° 7 nous montre les électrodes en place sur un sujet.

3°) --- LES CONDITIONS DE L'EXAMEN ---

Il suppose l'élimination, au maximum, des réactions d'éveil, d'attention du malade.

Pour cela nous préconisons de réaliser l'examen dans une pièce isolée, au calme, en l'absence de lumière vive.

Le décubitus dorsal est la position qui nous paraît actuellement la plus favorable. Le patient doit être détendu.

La présence d'un blépharostat est indispensable, pour supprimer l'inévitable réflexe d'occlusion palpébrale. A ce sujet, il faut signaler le possible rôle néfaste du blépharostat, pièce métallique, au contact de l'oeil exploré. Il risque de pertuber la champ électrique. C'est pourquoi nous pensons qu'il faut l'entourer d'une matière isolante afin d'éviter cette cause d'erreur.

4°) --- L'EXAMEN PROPREMENT DIT ---

Les électrodes sont mises en place assez simplement après une anesthésie de contact à la Tétracaïne.

Un bon enregistrement dans des conditions basales peut ensuite être effectué. Mais nous pensons qu'il est important de compléter cet examen par l'étude des variations de la résistance de base Ro (qui traduisent le remplissage vasculaire de l'oeil) et par des manoeuvres :

- passives : modifications posturales des membres inférieurs ou de l'ensemble du corps, ce qui doit être possible grâce à un système de table orientable.

- active :
. apnée,
. lever des bras par exemple.

Enfin l'étude rhéographique de l'oeil peut être utilement complétée par compression manuelle de la carotide primitive.

II. - LES OBSERVATIONS CLINIQUES -

Nous avons pu réaliser plusieurs enregistrements chez l'homme dans les conditions d'examen ci-dessus décrits et avec le matériel présenté.

Les trois observations que nous présentons sont volontairement sommaires.

Il s'agit d'un travail de recherche : les problèmes techniques sont loin d'être résolus. Nous avons tenté une approche du phénomène clinique. L'interprétation que nous pouvons en donner est peut être en partie erronée, elle est certainement incomplète.

1°) --- TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL NORMAL ---

Les enregistrements rhéographiques de l'oeil normal seront étudiés tout d'abord dans les conditions "basales". Le malade étant immobile en décubitus dorsal.

La modulation artérielle est nette et l'on a noté sur le tracé Figure N° 37 A.

La périodicité cardiaque (↑).

La modulation respiratoire est également importante et perturbe le tracé artériel. On peut cependant donner une valeur moyenne de l'amplitude de la modulation rhéographique artérielle = 15 mm.

La Résistance de base Ro enregistrée simultanément Figure 37 B, nous permet comme chez l'animal, l'observation des variations hémodynamiques lentes. Mais on retrouve également la périodicité cardiaque et respiratoire et malheureusement les artéfacts dus aux mouvements oculaires.

Avec un déroulement plus rapide de l'enregistrement de Ro, on dissocie très aisément Figure N° 37 C, les accidents artériels et les périodes respiratoires.

Plusieurs manoeuvres ont pu être effectuées pour observer les variations des tracés rhéographiques dans des conditions physiologiques.

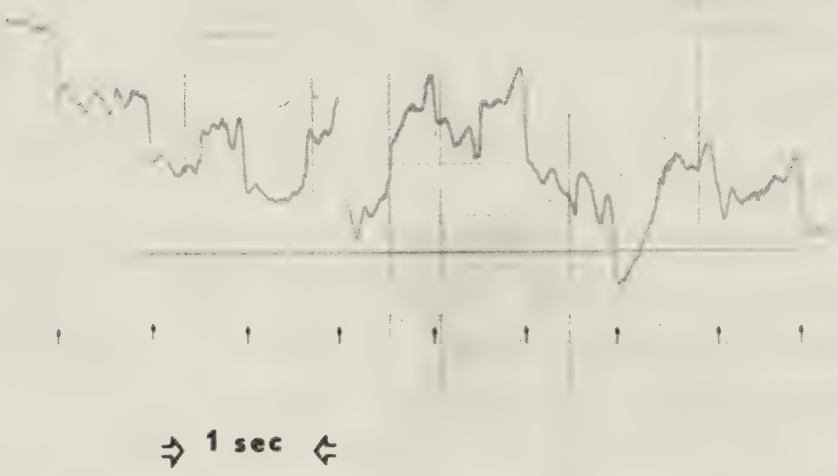


fig. 37 **A**

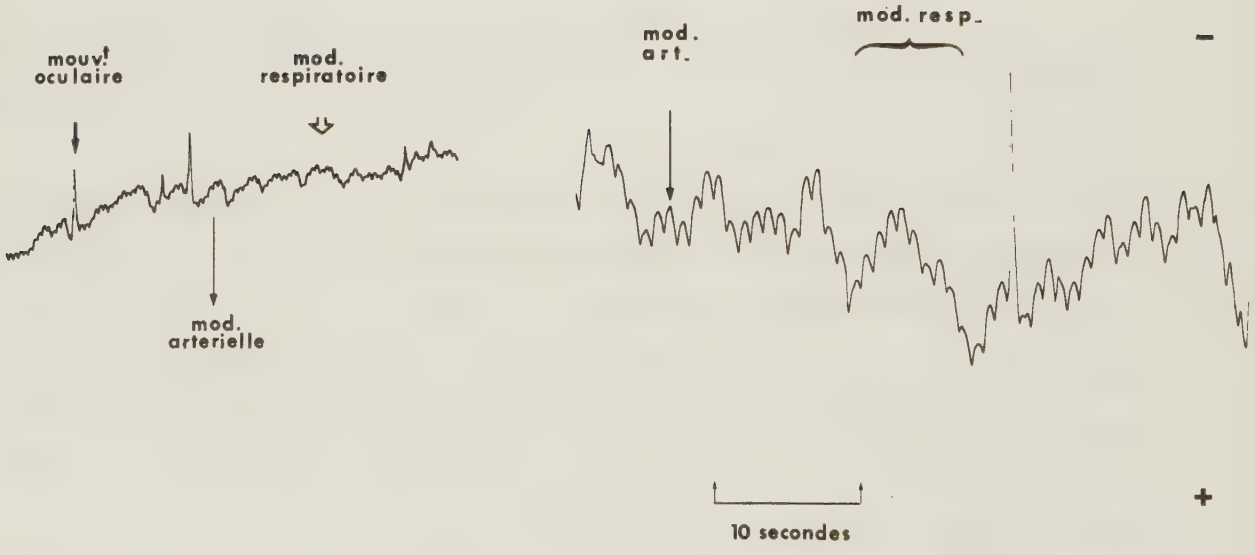


fig. 37

TRACES RHEOGRAPHIQUES D'UN OEIL NORMAL.

• L'apnée permet de diminuer le "retentissement" de la modulation respiratoire donc veineuse sur le tracé rhéographique Figure N° 38 I A.

La ligne de base de Ro est très légèrement décalée pendant la phase d'apnée. Nous pensons que cette très légère diminution de Ro correspond à une stase du sang dans le réseau veineux.

Le tracé rhéographique développé pendant cette période d'apnée montre bien la modulation artérielle, plus "pure", plus facile à mettre en évidence et à étudier Figure N° 38 I B.

• Au cours d'une modification posturale passive (lever des deux membres inférieurs à 90°), on remarque Figure N° 38 II, une chute rapide de Ro et une diminution de la modulation respiratoire. Ceci s'explique par l'augmentation du remplissage veineux de l'oeil.

• La compression manuelle de la carotide primitive du côté où est pratiqué l'enregistrement entraîne une augmentation nette et rapide de la résistance de base Ro Figure 38 III. Ce qui correspond à une diminution de l'irrigation de l'oeil, puis après une courte phase de plateau, bien que soit poursuivie la compression manuelle, la résistance Ro revient progressivement à sa valeur initiale, donc les vaisseaux de l'oeil ont retrouvé une irrigation normale, un calibre normal.

La suppléance de la carotide est assurée par le polygone de Willis. Nous verrons l'importance de ce fait en pathologie.

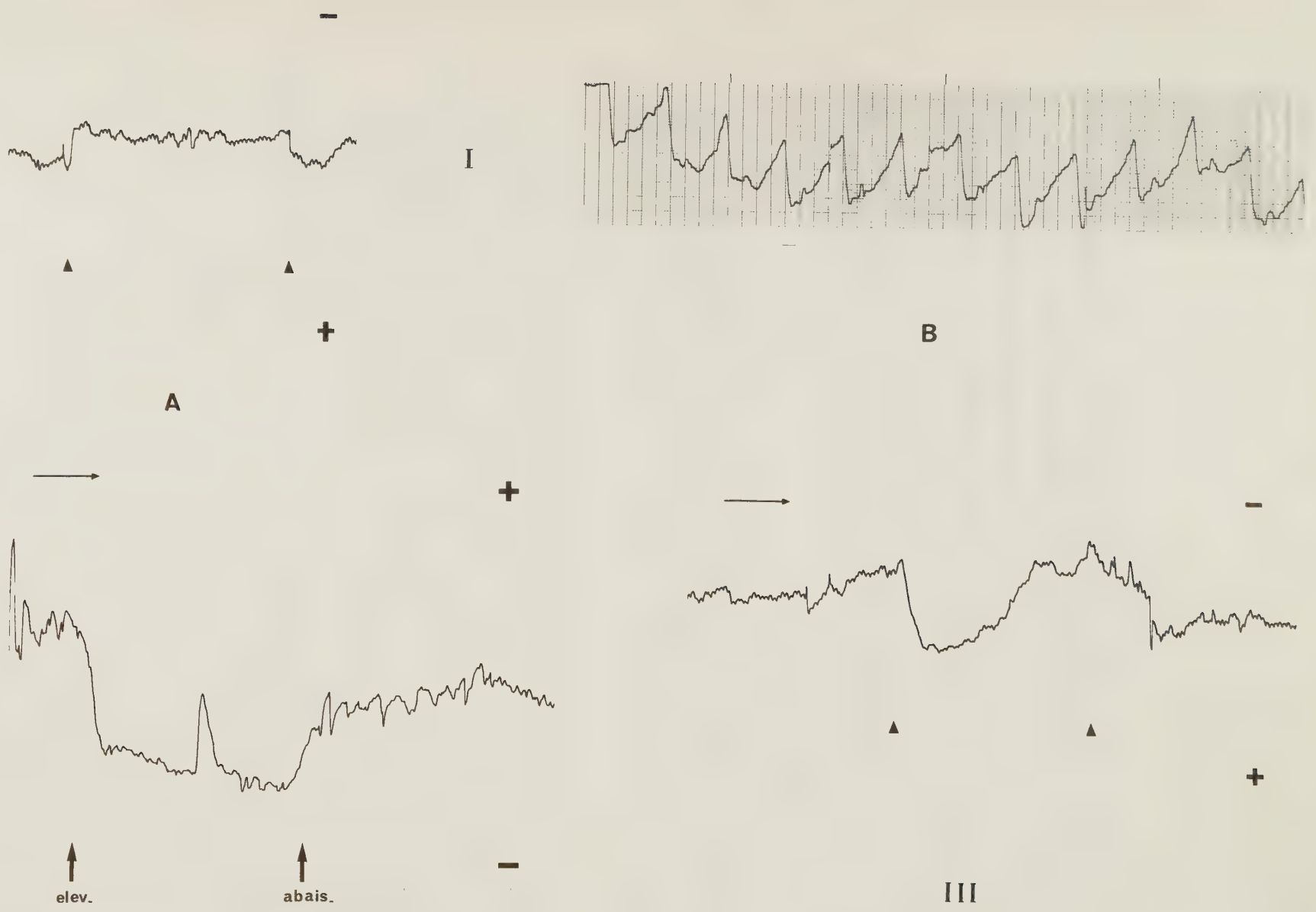


fig.38

TRACES RHEOGRAPHIQUES D'UN OEIL NORMAL.

2°) --- TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL ATTEINT D'UVEITE ---

Le deuxième tracé que nous présentons concerne un homme porteur d'une uvéite chronique récidivante de l'oeil droit, en pleine poussée inflammatoire avec : un cercle périkératique, un phénomène de Tyndall, un trouble du vitré.

Le signal artériel comme le montre le tracé de la Figure N° 39 A est particulièrement net pour un gain de l'enregistreur moindre.
Nous pensons qu'il traduit l'hypervascularisation locale au cours de la poussée inflammatoire.

Simultanément les variations lentes ont été enregistrées. Malheureusement tout mouvement palpébral ou oculaire ne peut être éliminé, c'est pour cette raison que le tracé B présente nombre d'artéfacts.
Néanmoins on distingue nettement la variation respiratoire et artérielle.

3°) --- TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL PRESENTANT UN SYNDROME D'EXOPHTALMOS PULSATILE ---

Nous avons pu pratiquer un enregistrement rhéographique à un malade porteur d'un "exophtalmos pulsatile" gauche, post traumatique, avec une symptomatologie clinique complète.

L'importance de la modulation artérielle Figure N° 40 A l'emporte en quelque sorte sur la modulation respiratoire, mais cette dernière est néanmoins présente.

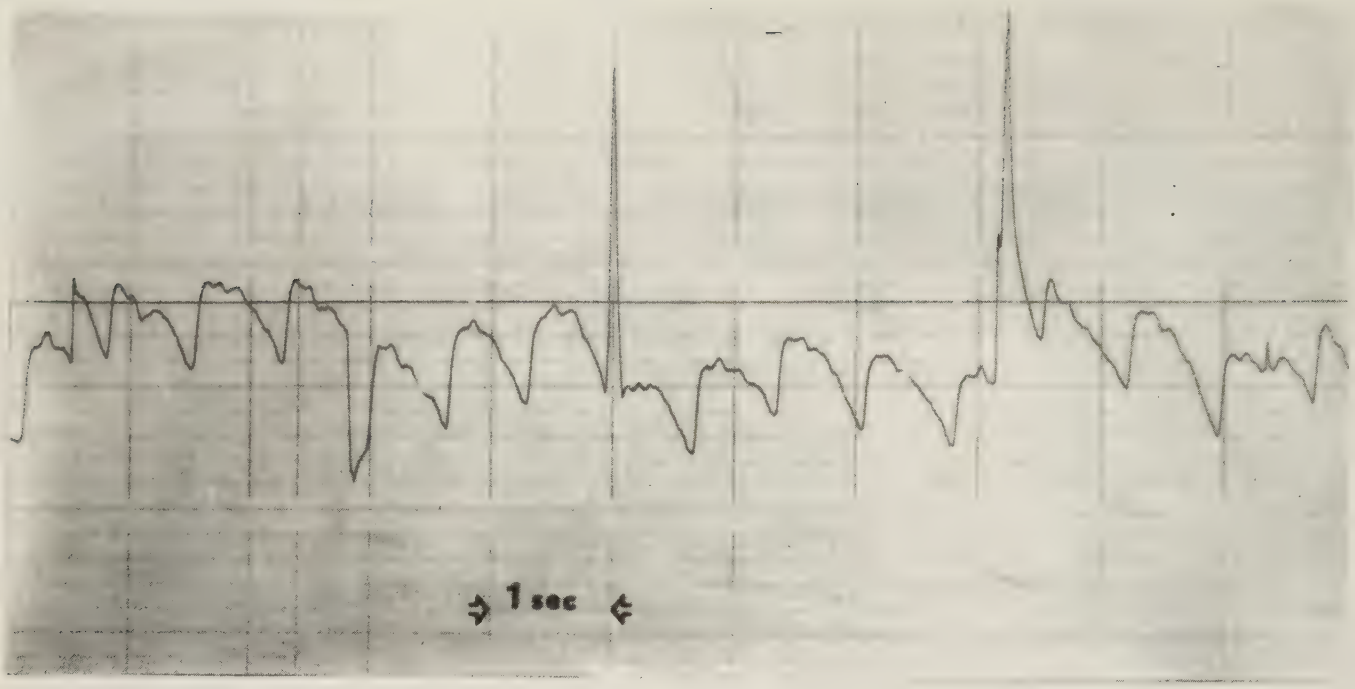
Un tracé avec déroulement rapide de la bande d'enregistrement (B) met en évidence un "beau" signal artériel (amplitude moyenne : 15 mm).

En apnée l'aspect du tracé est plus stable (C).

Enfin, la compression de la carotide gauche (qui fait disparaître la sémiologie clinique d'exophtalmos pulsatile), montre (Tracé D).

- la diminution très nette d'amplitude du signal rhéographique 7 mm. au lieu de 15 mm.
- la dérive de la ligne de base tant que dure la compression : Ro augmente.

Ces deux phénomènes traduisent la diminution de l'apport sanguin artériel à l'oeil.



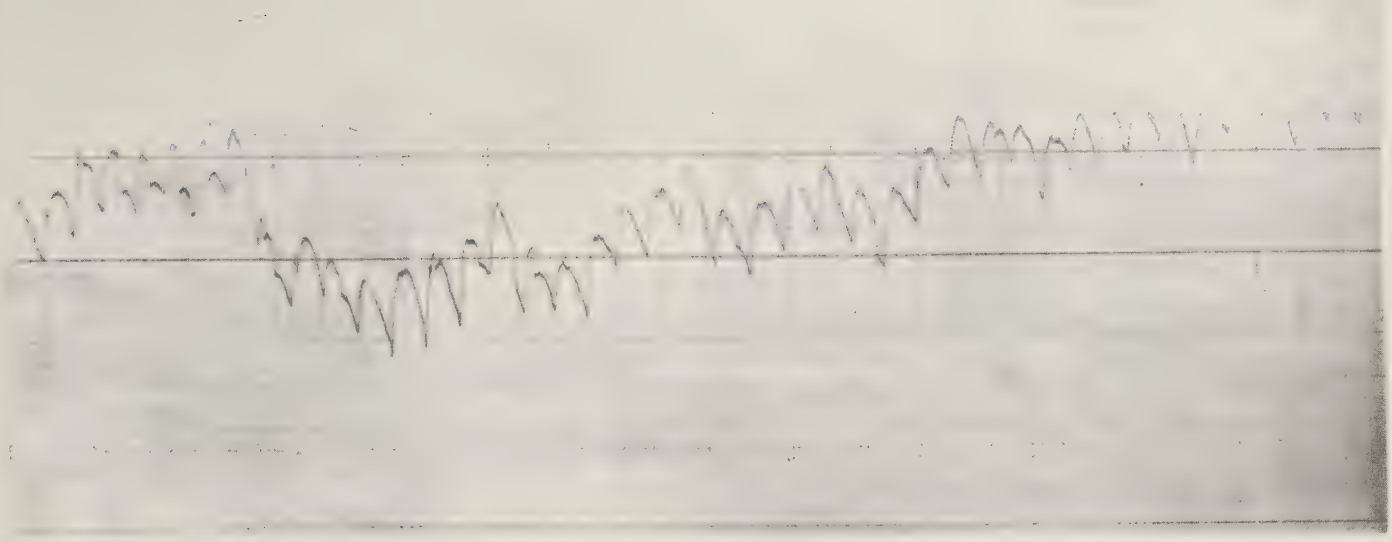
A

B

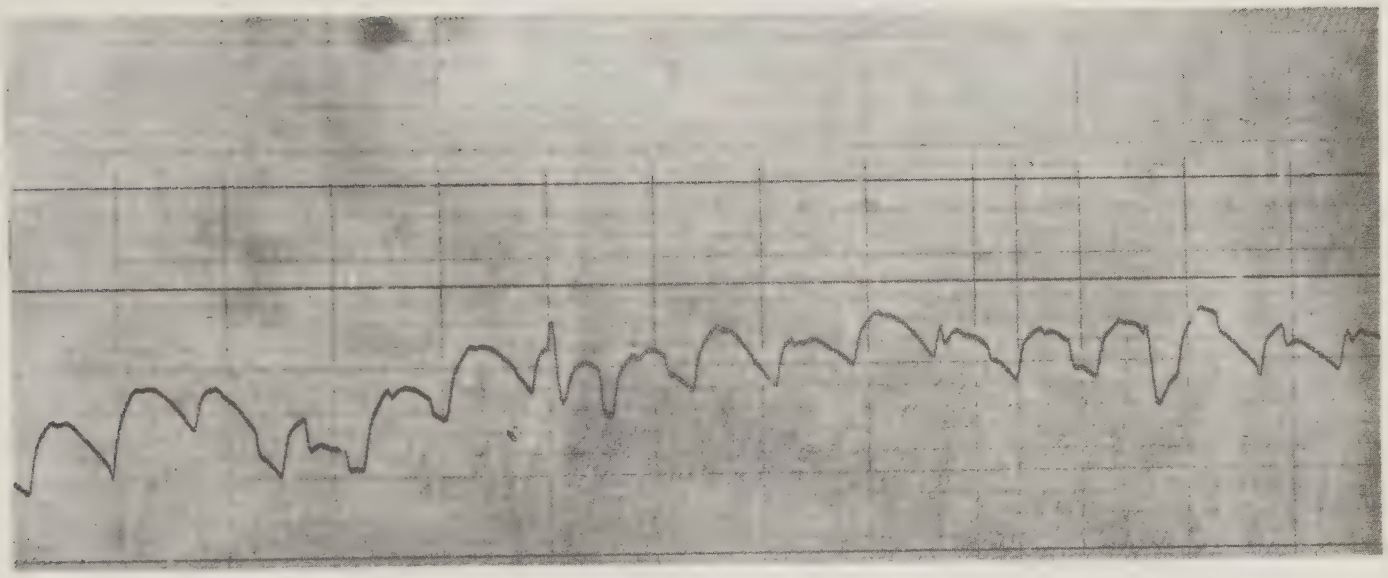
fig 39

TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL ATTEINT D'UVEITE

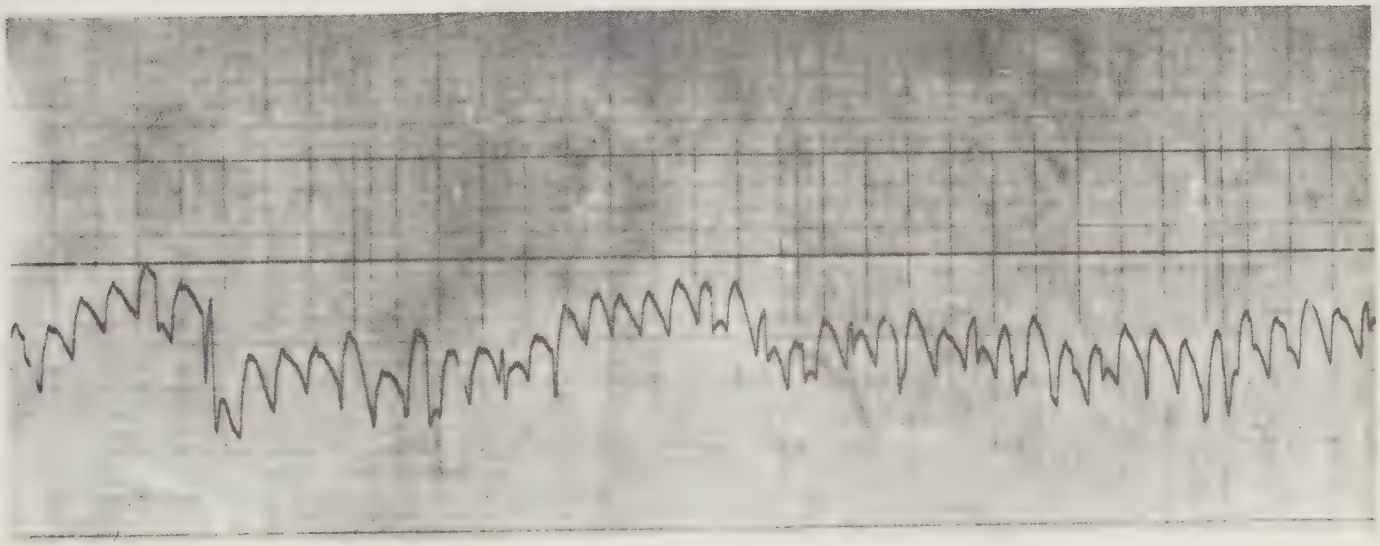
- tracé A : enregistrement du rhéogramme Rh.
- tracé B : enregistrement de la résistance Ro.



A



B



C

fig 40

TRACE RHEOGRAPHIQUE D'UN OEIL PRESENTANT UN SYNDROME D'EXOPHTALMOS PULSATILE.

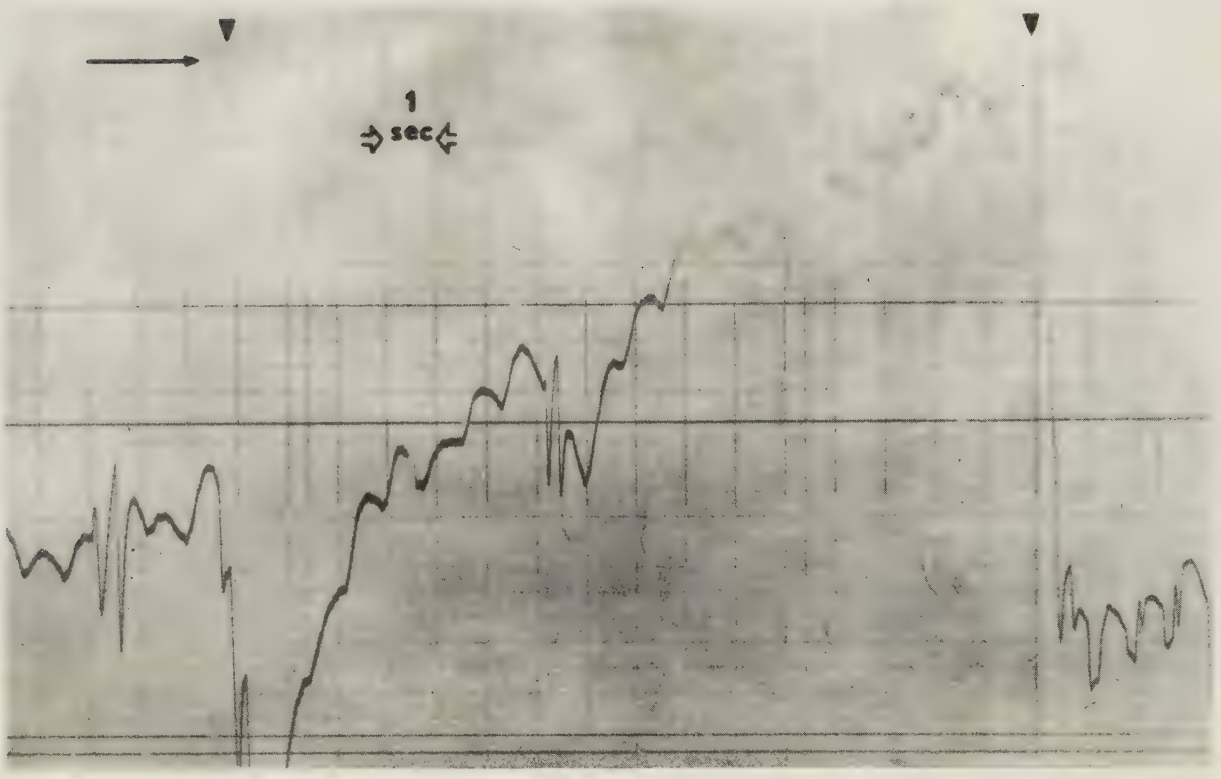


fig. 40 D

ENREGISTREMENT RHEOGRAPHIQUE DE L'OEIL GAUCHE AU COURS DE LA COMPRESSION DE LA CAROTIDE PRIMITIVE GAUCHE CHEZ UN MALADE PORTEUR D'UN SYNDROME D'EXOPHTALMOS PULSATILE.

Mais la modulation artérielle persiste car l'irrigation de l'oeil se fait alors par le Polygone de Willis, c'est d'ailleurs ce qu'ont montré les bilans artériographiques pratiqués par la suite.

REMARQUES GENERALES

- L'examen s'est déroulé dans des conditions satisfaisantes.
- Une assez bonne coopération des patients a pu être obtenue permettant de réaliser quelques épreuves posturales, d'apnée ou de compression carotidienne.
- Les électrodes bien qu'un peu difficiles à poser ont une bonne adhérence une fois installées et les tracés ont pu être réalisés sans trop de difficulté technique.

Il faut envisager cet examen comme bref pour être valable mais non limité à un enregistrement pur et simple. Des épreuves dynamiques faciles à réaliser doivent venir compléter les renseignements fournis.

R E F L E X I O N S

Nous avons pu au cours de la réalisation de ce travail effectuer un tour d'horizon des possibilités de la rhéographie à quatre électrodes au niveau de l'oeil.

Nous avons pu progressivement soulever un certain nombre de problèmes techniques. Tous n'ont pas été résolus. Il reste par exemple à préciser :

- l'emplacement théorique idéal des électrodes,
- le problème de la distance entre deux électrodes,
- les conditions de normalisation de l'examen.

Pour cela l'expérimentation reste à poursuivre, une étude statistique à faire pour permettre l'application et l'exploitation en clinique de la méthode.

Le but final est en effet l'utilisation d'une méthode simple, non dangereuse, répétitive, fournissant des documents écrits donc comparatifs et ne devant pas exiger de la part d'un patient plus de coopération qu'un enregistrement tonographique.

Les renseignements fournis doivent être d'ordre :

- diagnostic : précision d'une thrombose vasculaire, de la possibilité de pulsation de l'écorce de l'oeil, de remplissage du lit vasculaire.

- pronostic : possibilité d'adaptation de l'oeil à des variations circulatoires périphériques. Intérêt à titre préopératoire peut-être.

On ne pose pas impunément deux électrodes sur l'oeil sans remettre en question nombre de mécanismes physiologiques, hémodynamiques et hydrauliques : c'est la base de cette étude.

L'avenir de la méthode réside dans les nombreuses possibilités d'exploration qu'elle nous offre dans tout ce qui concerne la pathologie vasculaire de l'oeil.

C O N C L U S I O N S

La rhéographie nous offre la possibilité d'explorer de façon précise et atraumatique un secteur vasculaire donné. De là est née l'idée d'appliquer à l'oeil, organe vasculaire par excellence ce moyen d'exploration précis.

L'obtention d'un signal rhéographique modulé par les phénomènes artériels et respiratoires nous a permis d'envisager trois éléments :

- Etude des modulations artérielles.
- Etude des modulations veineuses.
- Etude des variations des résistances.

Et des inter-relations de chaque phénomène.

Il apparaît alors intéressant d'étudier l'enregistrement rhéographique en fonction de telle ou telle pathologie :

- Expérimentale, c'est-à-dire simulée.
- Ou réellement observée.

Ce sont là les perspective d'application de la méthode en Clinique.

Vu et Permis d'imprimer
Grenoble, le 12.07.I972

Le Doyen de la Faculté
de Médecine et de Pharmacie
de Grenoble.

G. CABANEL

Le Président de Thèse :

Professeur J.L. BONNET

B I B L I O G R A P H I E

B I B L I O G R A P H I E

I. - AUTONES M.

Contribution à l'étude de la rhéographie des membres inférieurs. Thèse de Médecine - Grenoble, I970, N°37.

2. - AVETISOV E.S., KATSNELSON L.A., SAVITSKAYA N.F.

Investigations rhéographiques dans la myopie.
(en russe)
Vestn. Oftal. I967, 80, 3.

3. - BEST M., PLECHATY G., HARRIS L., GALIN M.A.

Ophtalmodynamometry and ocular pulse studies in carotid occlusion.
Arch. Ophtal. Chicago, I97I, 85, 3, 334-338.

4. - BEST M., KEYES M., PLECHATY G., GALIN M.A.

Graphic analysis of the ocular pulse in carotid occlusion.
Arch. Ophtal. Chicago, I97I, 85, 3, 315-319.

5. - BETTELHEIM H.

Versuch einer Rheoplethysmographie des menschlichen Auges.
Klin - Mbl. Augenheilk, I967, 151, I, 130.
publié dans : Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal. I967, 172, 188.

6. - BETTELHEIM H.

Die Rheographie in der augenärztlichen Kreislaufdiagnostik.
Klin. Mbl. Augenheilk, I967, 150, 6, 805-8I2.

7. - BETTELHEIM H.

Uber intraoculare Kreislaufregulationen bei spontaner Zunahme der Augenspannung und bei vermindertem Ophthalmicablutdruck.
Ber. dtsch. ophthal. Ges. I969, 70, 474-48I.

8. - BETTELHEIM H.

Oculorheographie Ein Verfahren für das Beurteilen der intraocularen Zirkulation.
Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal. Dtsch. I97I, I83, I, 1-21.

9. - BISHOP S. and NYBOER J.

Electrical impedance plethysmography of canine and human eyes.
Herper Hosp. Bull. I962, 20, 142-150.

IO. - BISHOP S. and NYBOER J.

Electrical impedance of the anterior eye chamber.
International conference on Bio-electrical impedance.
Ann. N.Y. Acad. Sci. I970, 170, 793-80I.

11. - BOGOLOVSKY A.I., BUNIN A.Ya, ZHDANOV V.K., POLYAKOVA L. Ya.
SEMENOVSKAYA E.N.

Investigations électrophysiologiques et ophtalmopléthysmographiques dans les perturbations de la vascularisation de l'oeil.
(en russe)
Vestn. Oftal. I967, 3, 41-46.

12. - BUNIN A.Y., GURTOVAYA E.E.

L'ophtalmopléthysmographie dans le diagnostic des lésions des artères carotides et de quelques formes de glaucomes secondaires.
(en russe)
Vestn. Oftal. I968, 6, 36-39.

13. - BUNIN A. Ya.

Problèmes dans les investigations cliniques et expérimentales pour l'étude de la circulation des liquides de l'oeil.
(en russe).
Vestn. Oftal. I969, 2, 3-7.

14. - CRISTINI G., GARAGNANI N.

Prime indagini reografiche in oftalmologia.
Atti Congr.
Soc. Oft. Ital. I956, 41, 142.

15. - DUKE - ELDER S.

System of ophthalmology.
London - Henry Kimpton - I968, vol. IV.

16. - ERSLER G.

Zur Rheookulographie.
Klin. Mbl. Augenheilk. I968, 153, 2, 277-279.

17. - ETIENNE R.

Les glaucomes.
Diffusion générale de Librairie - Marseille - I969.

18. - JANTSCH H.

Zur Auswertung des peripheren Rheogrammes.
Wien Med. Wschr. I958, I08, I004.

19. - JANTSCH H.

Die Rheographie als Wegweiser für die Therapie von arteriellen Durchblutungsstörungen der Extremitäten.
Med. Welt. I965, 9, 431.

20. - KAINDL F., POLZER K., SCHUHFRIED F.

Die Amplitudenauswertung des Rheogrammes.
Wien, Z. inn Med. I959, 40, 175.

21. - KATSNELSON L.A.

Les utilisations expérimentales et cliniques de la rhéographie oculaire (rhéophtalmography).
(en russe)
Vestn. Oftal. I971, 87, 4, 32-38.

22. - NYBOER J.

Electrical impedance plethysmography.
Circulation, I950, 2, 8II.

23. - NYBOER J.

Electrical Impedance plethysmography.
Thomas Ed. Springfield - USA. I969.

24. - PIQUARD J.F., FAVIER C., RIVAL M., SARRAZIN R.

Mesure d'irrigation sanguine par cartographie rhéographique.
Génie Biologique et Médical, I969.

25. - PIQUARD J.F.

Mesure d'irrigation sanguine.
Thèse - Faculté des Sciences - Grenoble, I970.

26. - POIRIER P. et CHARPY A.

Traité d'Anatomie Humaine.
Lahure Editions - Paris, tome V, fasc. II.

27. - RENARD G., LEMASSON C., SARAUX H.

Anatomie de l'oeil et de ses annexes.
Ed. Masson - Paris, I965.

28. - RODENHAUSER J.H.

Contribution à la thérapie dirigée des troubles de l'irrigation sanguine de la choroïde oculaire.
Ann. Oculist. Paris, I970, 203, 5, 427-435.

29. - SARRAZIN R., AUTONES M., RIVAL M., PIQUARD J.F., FAVIER CH.

L'exploration de la circulation artérielle des membres inférieurs par la rhéographie.
Grenoble Médico-Chirurgical, I970, 8, 2, 55-70.

30. - SARRAZIN R., AUTONES M., PIQUARD J.F.

Sur le calcul d'un indice dans l'exploration de la circulation artérielle des membres inférieurs par la rhéographie.
Grenoble Médico-Chirurgical, I97I, 9, I5, 5-9.

31. - SARRAZIN R., PIQUARD J.F.

Appréciation de la valeur circulatoire artérielle des membres par la méthode rhéographique.
2Ie Congrès International de la Société européenne de chirurgie cardiovasculaire, Bruxelles, juin I972.

32. - SCHLEGEL H.J.

Kreislaufuntersuchungen am Auge und Gehirn mit Hilfe einer elektrischen Plethysmographie.
Ann. Univ. Sarav. I963, IO, Fasc. 4, 23I-374.

33. - SWEGMARK G.

Studies on the electrical impedance of the human eye, a preliminary report.
Acta ophthal.(Kbh.) I966, 44, I2I.

34. - SWEGMARK G., OLSSON T.

Impedance cyclography. A new method for accomodation recording.
Acta ophthal. (Kbh.) I968, 46, 946.

35. - TESTUT L. et LATARJET A.

Traité d'Anatomie Humaine.
Ed. Doin - Paris, I930, III.

36. - THIEL R.

Hornhautpulsation, Blutdruck, Augendruck.
Ber. dtsch. ophtal. Ges. I928, I98.

37. - ZIEMNOWICZ S.A.R.

The rheographic method applied for research on ocular circulation.
Abstr. in Investig. ophth. I962, I, 428.

TABLE DES MATIERES

pages

INTRODUCTION 3

GENERALITES

I. La place de la rhéographie parmi les explorations vasculaires de l'oeil 9

II. Historique 11

III. Rappels anatomique et physiologique 15

IV. Orientation générale de l'étude 24

THEORIE DE LA RHEOGRAPHIE DE L'OEIL

I. Principe de la rhéographie 31

II. Application à l'oeil

1°) -- Caractéristiques électriques de l'oeil ... 35

2°) -- Caractéristiques mécaniques de l'oeil 43

3°) -- Choix de la technique 47

4°) -- Nature et position des électrodes 51

5°) -- L'appareillage : le rhéographe 57

III. Le signal rhéographique de l'oeil 61

EXPERIMENTATION

I. Le choix de l'animal 67

II. Le mode opératoire 69

III. Orientation de l'expérimentation 73

RESULTATS

I. Etude des relations existant entre les modifications des paramètres circulatoires et les tracés rhéographiques 85

II. Les modifications du tracé rhéographique en fonction des caractères franchement pathologiques 99

III. Recherche d'une méthode quantitative 112

RECHERCHE D'APPLICATIONS CLINIQUES

I. Généralités 127

II. Les observations cliniques 129

REFLEXIONS 139

CONCLUSIONS 141

BIBLIOGRAPHIE 143

La lampe du corps, c'est l'oeil.

SAINT MATTHIEU.

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'Hippocrate.

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les moeurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes Confrères si j'y manque.